

Technická univerzita v Liberci

FAKULTA PEDAGOGICKÁ

Katedra: Katedra fyziky

Studijní program: Učitelství pro střední školy

Kombinace: matematika - fyzika

STŘEDOŠKOLSKÁ FYZIKA V MODERNÍ
TECHNICE

THE SECONDARY SCHOOL PHYSICS IN
MODERN ENGINEERING

DIE MITTELSCHULIGE PHYSIK IN
AKTUELLE TECHNIK

Diplomová práce: 06-PF-KFY-061

Autor:

Michal KUČERA

Podpis:

Adresa:

Lidické náměstí 33

506 01, Jičín

Vedoucí práce: Mgr. Stanislav Panoš, Ph.D.

Konzultant: Doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph. D.

Počet

stran	slov	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
95	22744	63	35	6	2

V Liberci dne: 16. 5. 2006

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne: 16.5.2006

Michal Kučera

Poděkování

Rád bych poděkoval především vedoucímu této diplomové práce, panu Mgr. Stanislavu Panošovi, Ph.D., bez jehož významné pomoci, podpory a řady podnětných připomínek by tato práce nemohla vzniknout.

Dále bych rád poděkoval za drobné konzultace všem ostatním členům katedry fyziky, zejména konzultantovi práce, panu Doc. RNDr. Miroslavu Šulcovi.

V neposlední řadě patří poděkování i mým studijním kolegům, za jejich pomoc při realizaci úvodního výzkumu.

Resumé

Tato diplomová práce se zabývá využitím fyzikálního popisu principů, spojených s fungováním moderních technických zařízení, při běžné výuce v hodinách fyziky. Po zpracování úvodní ankety bylo na základě názorů samotných studentů vytipováno šest témat (Detektory pohybu, GPS navigace, Optická záznamová média, LCD displeje, Alternativní zdroje energie a Piezo-/Pyro-materiály). Následný popis témat obsahuje odstavce, vysvětlující jazykem středoškolské fyziky základní principy, umožňující provoz těchto zařízení, případně zajímavosti z jejich historie či technologického provedení. Dále následuje několik návodů na vlastní praktická měření, spojená se solárními panely a bateriemi. V návaznosti na téma „Detektory pohybu“ je v poslední části práce ukázka podrobného měření pyroelektrického koeficientu materiálu LaTGS, používaného v pasivních infračervených senzorech.

THE SECONDARY SCHOOL PHYSICS IN MODERN ENGINEERING

Summary

This written work of diploma explores employment of description of principles in Physics, connected with functioning of modern technologies used in normal lessons in Physics. After the initial questionnaire was processed, based on opinions of students, six of the following themes were chosen: (Detectors of movement, GPS navigation, Optical note taking media, LCD display, Alternative sources of energy and Piezo-/Pyro-materials). The following description of themes contains paragraphs explaining, in language of secondary school Physics, the basic principles which make this technology work, and relevant interesting things from its history or technology. Then follow several instructions for practical measurements connected with solar panels and batteries. In connection with theme „Detectors of movement“ there is an example of detailed measurement of pyroelectric coefficient of material LaTGS, used in passive infrared sensors, in last part of this work.

DIE MITTELSCHULIGE PHYSIK IN AKTUELLE TECHNIK

Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Ausnutzung der physikalischen Beschreibung von Prinzipien, die mit der Funktion der modernen technischen Anlagen verbunden werden, im Unterricht – genau in den Physikstunden. Nachdem eine Einführungsfrage bearbeitet wurde, entstanden, aufgrund der Studentenmeinungen, 6 Themen (Bewegungsdetektoren, GPS Navigation, Optische Aufnahmemedia, LCD Displays, Alternative Energieressourcen und Pizo-/Pyromaterialien). Folgende Themenbeschreibung beinhaltet Absätze, die die Grundprinzipien der Physik an der Mittelschule erklären, und die den Betrieb dieser Anlagen, eventuell die Merkwürdigkeiten aus ihrer Geschichte oder der technologischen Ausführung, ermöglichen. Dann folgen einige Anweisungen an das eigene praktische Messen, die mit den Solarpanelen und Batterien verbunden werden. Mit der Anknüpfung zum Thema „Bewegungsdetektoren“ gibt es im letzten Teil der Diplomarbeit ein Probestück des gründlichen Messen des pyroelektrischen Koefizient vom Material LaTGS, das in den passiven infraroten Sensoren benutzt wird.

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD A CÍLE PRÁCE	11
1. ZADÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ ANKETY	12
1.1 Zadání ankety	12
1.2 Průběh dotazování	12
1.3 Vyhodnocení ankety	13
1.4 Názory učitelů na volbu témat	15
1.5 Závěr a shrnutí výzkumu	16
Výkladová část	
1. DETEKTORY POHYBU	18
1.1 Zabezpečovací zařízení	18
1.2 Kontaktní či bezkontaktní elektrické spínače	18
1.2.1 Hallův jev	18
1.2.2 Praktické využití Hallova jevu	19
1.3 Světelné závory	19
1.3.1 Fotoelektrický jev	19
1.4 Pasivní detekce pohybu	20
1.4.1 Tepelné záření	20
1.4.2 Pyrosenzor	22
1.4.3 Polarizace dielektrika	22
1.4.4 Pomocné části detektoru	23
1.5 Aktivní detekce pohybu	25
1.5.1 Kmitání	25
1.5.2 Vlnění	25
1.5.3 Druhy vlnění	27
1.6 Využití detektorů v běžném životě	28
2. NAVIGAČNÍ SYSTÉM – GPS	29
2.1 Úvodní informace, historie	29
2.2 Princip navigace pomocí GPS	29
2.2.1 Vzdálenost = rychlost × čas	29
2.3 Atomové hodiny	30
2.4 Rovinný model GPS	31
2.4.1 GPS přijímač = atomové hodiny v kapse	32
2.4.2 Model × skutečnost	32
2.5 Technická realizace	33
2.5.1 Kosmický segment a vysílaný signál	33
2.5.2 Pozemní segment – eliminace nepřesností polohy	34
2.5.3 Uživatelův segment – od kompasu po autopilota	35
2.6 Budoucnost satelitních navigačních systémů	35
3. OPTICKÁ ZÁZNAMOVÁ MÉDIA	36
3.1 Úvod a historie	36
3.2 Magnetický záznam	37

3.2.1	Magnetický záznam – předchůdce i současník optického	37
3.2.2	Magnetizace	37
3.2.3	Praktické využití.....	38
3.3	Optický záznam.....	39
3.3.1	CD – kompaktní disk	39
3.3.2	Lisovaná CD	39
3.3.3	Zapisovatelné disky CD-R	40
3.3.4	Přepisovatelné disky CD-RW	40
3.4	DVD – Digitální Všestranný Disk.....	41
3.5	Nová média - HD-DVD, Blu-Ray	42
1)	HD-DVD	42
2)	Blu-Ray	42
3.6	Dodatek – princip laseru	44
4.	LCD, CRT A PLASMOVÉ OBRAZOVKY	45
4.1	Principy vnímání obrazu lidským okem	45
4.2	Klasická obrazovka – CRT	46
4.3	Displeje z kapalných krystalů (LCD)	48
4.3.1	Kapalné krystaly.....	48
4.3.2	Polarizace světla.....	49
4.3.3	Princip LCD	50
4.3.4	Typy LCD displejů.....	50
4.3.5	Způsoby řízení tekutých krystalů	51
4.3.6	Barevné displeje.....	51
4.4	Plasmové obrazovky	52
4.5	Organické displeje (OLED)	53
5.	ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE	54
5.1	Úvod – klasické × alternativní zdroje.....	54
5.2	Elektrárny.....	55
5.2.1	Elektromagnetická indukce	55
5.2.2	Jaderné štěpení	57
5.3	Elektrochemické články	58
5.3.1	Primární články	58
5.3.2	Sekundární články	59
5.4	Palivové články.....	60
5.5	Solární panely.....	61
5.5.1	Úvod a aplikace.....	61
5.5.2	Křemíkový polovodič, PN přechod	61
5.5.3	Fotoelektrický jev.....	62
5.6	Budoucnost jednotlivých zdrojů energie	64
6.	PIEZOELEKTRICKÝ A PYROELEKTRICKÝ JEV	67
6.1	Úvod a historie	67
6.2	Popis piezo- a pyro-elektrických materiálů	69
6.3	Aplikace a využití.....	70
7.	ZÁVĚR VÝKLADOVÉ ČÁSTI	72

Praktická část

1.	MĚŘENÍ, POKUSY A LABORATORNÍ CVIČENÍ PRO SŠ	74
1.1	<i>Výkon solárního článku</i>	74
1.1.1	Úvod.....	74
1.1.2	Zapojení	74
1.1.3	Zpracování	74
1.1.4	Závěr měření výkonu	76
1.1.5	Solární panel	77
1.2	<i>Účinnost solárního článku</i>	78
1.2.1	Teorie	78
1.2.2	Schéma pokusu a zapojení	79
1.2.3	Provedení pokusu	79
1.2.4	Zpracování naměřených hodnot	79
1.2.5	Závěr měření účinnosti	80
1.3	<i>Kalibrace solárního článku pro měření osvětlení</i>	81
1.3.1	Úvod.....	81
1.3.2	Pokyny k provedení a zpracování.....	81
1.3.3	Zapojení	81
1.3.4	Příklad zpracování naměřených hodnot	82
1.3.5	Závěr kalibrace solárního článku.....	82
1.4	<i>Vnitřní odpor baterií</i>	83
1.4.1	Teorie	83
1.4.2	Pomůcky a zapojení	83
1.4.3	Měření a hodnoty	84
1.4.4	Zpracování hodnot, grafy	84
1.4.5	Závěr měření vnitřního odporu.....	86
2.	MĚŘENÍ PYROELEKTRICKÉHO KOEFICIENTU	87
2.1	<i>Úvod a teorie</i>	87
2.1.1	Pyroelektrický jev	87
2.1.2	Určování pyroelektrického koeficientu	87
2.1.3	Charakteristiky vzorků LaTGS	87
2.2	<i>Popis vzorků, přípravy a průběhu měření</i>	88
2.2.1	Schéma zapojení :	88
2.2.2	Průběh měření	89
2.3	<i>Zpracování naměřených hodnot</i>	89
2.3.1	Grafy pyroelektrického koeficientu pro 0,168% LaTGS.....	91
2.4	<i>Shrnutí výsledků měření, srovnání s tabulkami</i>	92
2.4.1	Odhad chyby měření pyroelektrického koeficientu	92
	ZÁVĚR A SHRUTÍ VÝSLEDKŮ PRÁCE	94
	SEZNAM ODKAZŮ A POUŽITÉ LITERATURY	95

Seznam obrázků

Výkladová část

Obrázek 1.1 – Magnetický kontakt	18
Obrázek 1.2 – Hallův jev	19
Obrázek 1.3 – Polární molekula H ₂ O	22
Obrázek 1.4 – H ₂ O v elektrickém poli	22
Obrázek 1.5 – Spojná čočka	23
Obrázek 1.6 – Fresnelova čočka	23
Obrázek 1.7 – Aktivní zóny různých čoček	23
Obrázek 1.8 – Schéma zapojení PIR senzoru	24
Obrázek 1.9 – Detekce průchodu polem detektoru	24
Obrázek 1.10 – Elektromagnetické spektrum	27
Obrázek 1.11 – Tělo venkovní lampy	28
Obrázek 1.12 – Zapojení senzoru	28
Obrázek 2.1 – Atomové hodiny	30
Obrázek 2.2 – Atomový čas pomocí GPS	32
Obrázek 2.3 – Dráhy satelitů	33
Obrázek 2.4 – GPS družice II generace	33
Obrázek 2.5 – Rozmístění monitorovacích stanic	34
Obrázek 2.6 – GPS kompas	35
Obrázek 2.7 – GPS s mapou	35
Obrázek 2.8 – GPS s navigací	35
Obrázek 2.9 – GPS - USB modul	35
Obrázek 3.1 – Magneto fonový pásek	38
Obrázek 3.2 – Vnitřek pevného disku	38
Obrázek 3.3 – Čtení dat z CD	39
Obrázek 3.4 – Lisované CD	39
Obrázek 3.5 – Příčný řez diskem CD-RW	40
Obrázek 3.6 – Čtení z CD, DVD a Blu-Ray	41
Obrázek 3.7 – HD-DVD	42
Obrázek 3.8 – Blu-Ray	42
Obrázek 3.9 – Apertura čočky	43
Obrázek 4.1 – Lekniny	45

Obrázek 4.2 – Detail květu	45
Obrázek 4.3 – Systém RGB	46
Obrázek 4.4 – Schéma CRT obrazovky	47
Obrázek 4.5 – Fázový přechod	48
Obrázek 4.6 – Polarizace světla	49
Obrázek 4.7 – Polarizace odrazem	49
Obrázek 4.8 – Polarizace dvojlomem	49
Obrázek 4.9 – Princip LCD.....	50
Obrázek 4.10 – Plasmová obrazovka – detail	52
Obrázek 4.11 – Pixely plasmové obrazovky	52
Obrázek 4.12 – OLED princip	53
Obrázek 5.1 – Synchronní alternátor	55
Obrázek 5.2 – Palivové tyče	58
Obrázek 5.3 – Schéma Li-iontového článku	59
Obrázek 5.4 – Solární zahradní lampy	61
Obrázek 5.5 – Solární "fasáda" na TU v Liberci.....	61
Obrázek 5.6 – Solární panely na družicích	61
Obrázek 5.7 – TOKAMAK.....	64
Obrázek 5.8 – Plastový solární článek	65
Obrázek 5.9 – Palivový článek v praxi	66
Obrázek 6.1 – Krystaly LaDTGS (a), LaTGS (b).....	67
Obrázek 6.2 – Piezoelektrický motor.....	71
Obrázek 6.3 – Stabilizace obrazu	71
Praktická část	
Obrázek 1.1 – Schéma zapojení pro měření výkonu.....	74
Obrázek 1.2 – Zapojení - foto	74
Obrázek 1.3 – Laboratorní solární panel.....	77
Obrázek 1.4 – Sluneční spektrum	78
Obrázek 1.5 – Schéma zapojení	79
Obrázek 1.6 – Kalibrace solárního panelu	81
Obrázek 1.7 – Detail panelu a čidla	81
Obrázek 1.8 – Vnitřní odpor	83
Obrázek 1.9 – Zapojení – měření vnitřního odporu	83
Obrázek 1.10 – Schéma obvodu pro měření vnitřního odporu	83

Seznam tabulek

Tabulka 1.a – Seznam dotazníkových témat.....	12
Tabulka 1.b – Počty respondentů.....	12
Tabulka 1.c – Výsledky výzkumu – celková zajímavost témat	13
Tabulka 1.d – Změna pořadí témat s přihlédnutím k pohlaví resp.	14
Tabulka 1.e – Volba témat podle SŠ profesorů.....	15
Tabulka 1.f – Variace pořadí témat.....	16

Výkladová část

Tabulka 1.a – Elektromagnetické spektrum.....	27
Tabulka 2.a – Rovinný model GPS.....	31
Tabulka 3.a – Typy barviv záznamových vrstev CD-R	40
Tabulka 3.b – Srovnání charakteristik optických disků	43
Tabulka 4.a – LCD - dělení podle zdroje světla.....	50
Tabulka 4.b -- LCD - dělení podle ovládání krystalů.....	50
Tabulka 4.c – Technologie řízení krystalů	51
Tabulka 5.a – Elektromagnetická indukce - schéma.....	56
Tabulka 5.b – Energetická bilance štěpení uranu.....	57
Tabulka 5.c – Galvanický článek s kapalným elektrolytem.....	59
Tabulka 5.d – Schéma palivového článku.....	60
Tabulka 5.e – Schéma solárního článku.....	63
Tabulka 6.a – Piezoelektrický jev - atomárně	70
Tabulka 6.b – Schéma piezozapalovače.....	72

Praktická část

Tabulka 1.a – Naměřené hodnoty výkonu pro 1000 lx	75
Tabulka 1.b – Naměřené hodnoty výkonu pro 500 lx.....	75
Tabulka 1.c – Naměřené hodnoty pro účinnost sol.čl.	80
Tabulka 1.d – Kalibrace solárního článku na luxmetr.....	82
Tabulka 1.e – Naměřené hodnoty vnitřního odporu baterií	84
Tabulka 1.f – Vnitřní odpor baterií	86
Tabulka 2.a – Rozměry vzorků LaTGS	88
Tabulka 2.b – Průměrné hodnoty fitačních koeficientů	92
Tabulka 2.c – Porovnání s tabulkami	92

Úvod a cíle práce

První motivací k sepsání této diplomové práce byla snaha o vytvoření textu, který by propojil běžně vyučovanou středoškolskou fyziku s oblastí moderních technických aplikací fyziky odborné. Fyzika jakožto vyučovací předmět je často předkládána jakou popis izolovaných fyzikálních jevů, které i když mohou být podloženy řadou demonstračních pokusů či laboratorních úloh, přesto vytváří celkový fyzikální obraz příliš mozaikovitý, schématický a pasivní.

Pro studium takto rozparcelovaných poznatků je obtížné nalézt pro studenty patřičnou motivaci v jejich běžném životě. Naproti tomu se domníváme, že studenti jsou dnes a denně obklopeni řadou technických vymožeností, jejichž podrobnější rozbor a snahu o porozumění jejich principům není třeba u studentů motivovat dodatečně, nebo alespoň je nutnost této dodatečné motivace v takovýchto případech výrazně menší.

Prvním cílem je vytipování vlastního obsahu práce - technických zařízení, jejichž rozbor bude hlavní náplní tohoto textu. Výběr plánujeme realizovat anketou, kde z širšího výběru nabízených možností studenti sami zvolí vhodná témata, která se stanou předmětem našeho zájmu ve výkladové části této DP.

Dalším cílem této práce je fyzikální analýza daných zařízení, spočívající ve vyjmenování základních fyzikálních principů, s kterými tato zařízení, či jejich technická realizace, souvisejí. Popis těchto principů bude proveden ve formě odpovídající fyzikální úrovni běžného výkladu daných jevů v hodinách středoškolské fyziky. Dále bude text obsahovat stručnou informaci o historii, současném stavu a možné budoucnosti těchto zařízení.

V návaznosti na témata, obsažená ve výkladové části, bude dále navrženo měření, související s obsahem některé z výkladových kapitol. Bude kladen důraz na nenáročnost přípravy pomůcek i samotné provedení, všechna měření budou proveditelná pomocí běžně dostupných měřících přístrojů.

1. Zadání a zpracování ankety

1.1 Zadání ankety

Zajímavých technických aplikací moderních fyzikálních poznatků je v našem okolí téměř nepřeberné množství. Proto bylo nutné vytipovat nejzajímavější témata – ta, která se stala obsahem dotazníku, byla vybrána jakousi formou brainstormingu – tzn. volili jsme taková, která nás napadla jako nejrozšířenější či nejzajímavější. Pro případ, že bychom nějaké podstatné téma opomenuli, byl v dotazníku ponechán prostor na vlastní návrhy dotazovaných. Seznam pevně daných témat uvádí následující tabulka:

Tabulka 1.a - Seznam dotazníkových témat

Téma (obsahově)	V učitelské verzi jako :	V žákovské verzi jako :
LCD, plazmové obrazovky	LCD-displeje, plazmové obrazovky	LCD-displeje
Atomové hodiny	Atomové hodiny	Atomové hodiny
Baterie	Moderní baterie	Alternativní zdroje energie, baterie
Mikrovlnná trouba	Mikrovlnná trouba	Mikrovlnná trouba
Optická datová média	CD, DVD, prepisovatelná datová média	CD, DVD, RW média
Solární panely	Solární panely	Solární panely
Piezo-prvky	Piezo-prvky – krystal jako zdroj napětí	Piezo-prvky - zmáčkнутý krystal jako zdroj napětí
GPS navigace	GPS – velmi přesný navigační systém	GPS-navigační systém
Optické kabely	Optické kabely	Optické kabely
Detektory pohybu	Pyro-senzory a detektory pohybu	Detektory pohybu
Laserová měření vzdáleností	Laserová měření vzdáleností	Laserová měření velkých (malých) vzdáleností

Úkolem oslovených respondentů bylo poté vybrat z 11 nabízených témat šest pro ně nejzajímavějších a každému zvolenému tématu přiřadit určité číslo, které vyjadřovalo další rozlišení míry jejich zájmu – zda danému tématu věnovali sami nějaký čas při samostudiu, považují za dostatečné informace z běžného školního výkladu či požadují nový materiál, obsahující podrobnější informace.

Pozn.: Téma „Baterie“ bylo pojmenováno poněkud nešťastně spojením s nadřazeným pojmem „Alt. zdroje energie“, což je jistě zavádějící. Toto téma bude zřejmě spojeno s kap. „Solární články“.

1.2 Průběh dotazování

Dotazník byl vyplňován na několika gymnáziích, převážně v Severočeském kraji, v červnu 2005 (Jablonec) a září 2005 (ostatní školy). Za pomoc s realizací bych rád poděkoval nejen vedoucímu práce, ale i svým kolegům.

Instruování studentů v jednotlivých třídách prováděli jejich učitelé, podle pokynů uvedených v učitelské verzi dotazníku. Žákovské verze pak obsahovaly další přesnější pokyny pro správné vyplnění.

Celkový počet dotazovaných respondentů a jejich počty na jednotlivých školách shrnuje další tabulka:

Tabulka 1.b – Počty respondentů

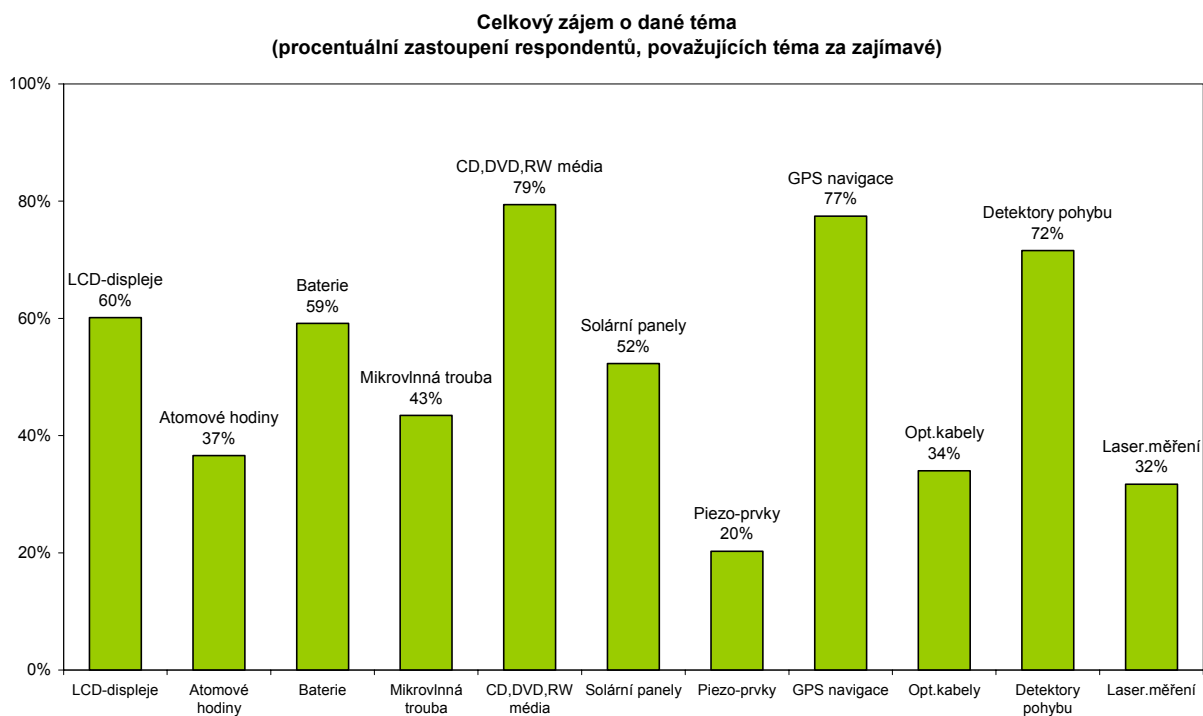
Lepařovo gymnázium, Jičín :	117 respondentů
Gymnázium F.X.Šaldy, Liberec :	74 respondentů
Gymnázium v Jablonci n.N. :	59 respondentů
Gymnázium Klatovy :	56 respondentů
Celkem :	306 respondentů

Je třeba poznamenat, že naprostá většina dotazovaných byli studenti 2. a 3. ročníku, resp. Sexty a Septimy. Domníváme se, že první ročníky vyššího gymnázia daná témata ještě příliš neznají a naopak poslední ročníky mají své zájmy již poměrně profesně vyhraněné – tato omezení by mohla zkreslit výsledky výzkumu.

1.3 Vyhodnocení ankety

V následujícím grafu jsou zobrazeny procentuální výsledky jednotlivých témat, podle celkové zajímavosti pro respondenty (tedy bez ohledu na to, zda se o danou věc zajímají aktivně, či je zaujala např. pouze v rámci běžného výkladu):

Graf 1 – Celková zajímavost dotazovaného tématu



(Pozn. : V zájmu přehlednosti grafu byly názvy některých témat zkráceny).

Následující tabulka uvádí pořadí témat podle celkové zajímavosti.

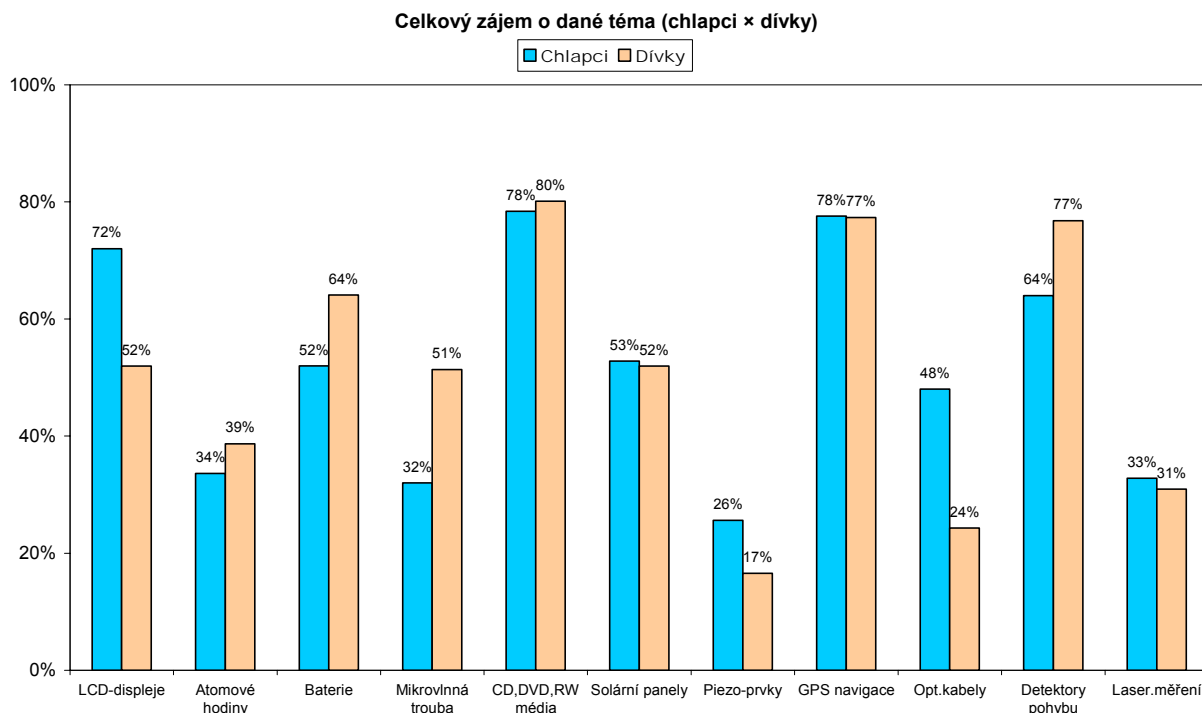
Tabulka 1.c – Výsledky výzkumu – celková zajímavost témat

Velmi zajímavá (nad 70% respondentů)	1) CD, DVD, RW-média
	2) GPS navigace
	3) Detektory pohybu
Zajímavá (50-70%)	4) LCD-displeje
	5) Baterie
	6) Solární panely
Méně zajímavá (30-50%)	7) Mikrovlnná trouba
	8) Atomové hodiny
	9) Optické kabely
	10) Laserová měření vzdáleností
Nezajímavá (méně než 30%)	11) Piezo-prvky

Nyní se nabízí snadné řešení – zvolit za vybraná témata prvních 6 v pořadí. Nebo lépe – Poslední 2 témata v první šestici spojit do jednoho a v rámci rozšíření informovanosti a popularizace přidat jako 6. téma „Piezo-prvky“, které se umístily jako poslední nejspíše z důvodu malé informovanosti studentů o jejich významu a aplikacích.

Podoba zadaného dotazníku umožňuje porovnat rozdíly v tématických preferencích mezi pohlavími. Uveďme toto srovnání, i když obsah dalších kapitol neovlivní, alespoň pro zajímavost :

Graf 2 – Zajímavost témat - podle pohlaví



Z grafu je patrné, že :

- významnější rozdíly (kolem 10%) se projevují u tří témat – Baterie, Piezo-prvky, Detektory pohybu.
- zásadnější rozdíly (kolem 20%) se týkají také 3 témat – LCD-displeje, Mikrovlnná trouba, Opt. kabely
- v ostatních tématech se obě pohlaví vyjadřují k jejich zajímavosti téměř shodně.

Sestavme nyní pořadí prvních šesti prioritních témat pro obě pohlaví zvlášť a porovnejme odlišnosti oproti pořadí stanovenému výše. Co by se změnilo ?

Tabulka 1.d – Změna pořadí témat s přihlédnutím k pohlaví resp.

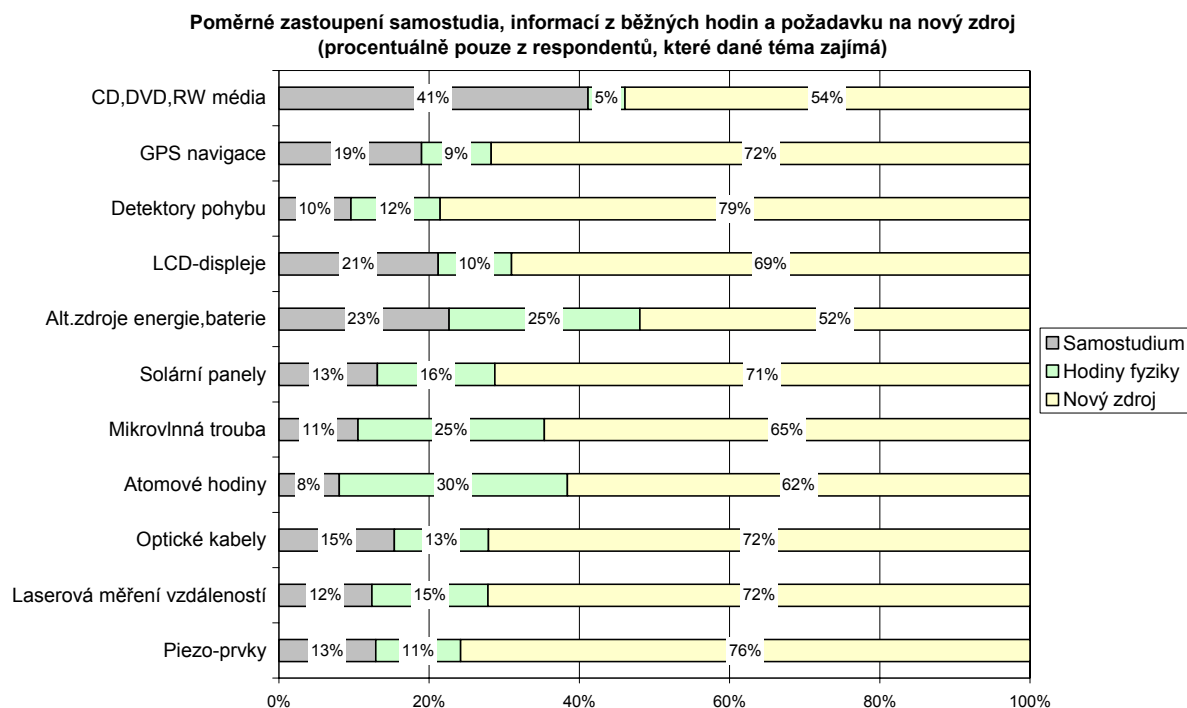
Celkové pořadí	Priority chlapců	Priority dívek
1) CD, DVD, RW-média	1) CD, DVD, RW-média	1) CD, DVD, RW-média
2) GPS navigace	2) GPS navigace	2) GPS navigace
3) Detektory pohybu	3) LCD-displeje	3) Detektory pohybu
4) LCD-displeje	4) Detektory pohybu	4) Baterie
5) Baterie	5) Solární panely	5) Solární panely + Mikrovlnná trouba
6) Solární panely	5) Baterie	6) LCD-displeje

První šestici témat by podle chlapců tvořily stejné pojmy, pouze v jiném pořadí, dívky navíc zajímá pouze téma „Mikrovlnná trouba“, která by zřejmě nahradila téma „LCD-displeje“.

Když už nyní víme, jaká témata považují studenti za významná, podívejme se, která z nich přivádí více k samostudiu a která jsou dostatečně vykládána v běžných hodinách.

Následující graf znázorňuje podíly samostudia, běžných hodin a požadavků na nový studijní materiál u jednotlivých témat. Jeho rozbor nám odhalí případné korekce v pořadí témat – protože jistě není nutné věnovat v další části této práce více prostoru takovým tématům, o kterých mají studenti dostatek podrobných informací z jiných zdrojů (vlastního samostudia, běžných hodin, apod.).

Graf 3 – Preferované zdroje informací pro jednotlivá témata



Pro celkově nejzajímavější téma, tedy „CD, DVD, RW-média“ vyplývá, že více jak 40% dotázaných informace vyhledává samo, a nový zdroj informací by pro ně nebyl natolik přínosný.

1.4 Názory učitelů na volbu témat

Učitelskou verzi dotazníku vyplnilo celkem šest respondentů. Jejich úkolem bylo označit témata, která považují za zajímavá a která by v takovémto materiálu neměla chybět. Pořadí a celkový počet hlasů pro zahrnutí tématu uvádí následující tabulka :

Tabulka 1.e – Volba témat podle SŠ profesorů

CD,DVD,RW média	6	Atomové hodiny	2
LCD-displeje	5	Optické kabely	2
GPS navigace	4	Piezo-prvky	2
Mikrovlnná trouba	4	Detektory pohybu	1
Moderní baterie	4	Laserová měření vzdáleností	1
Solární panely	4		

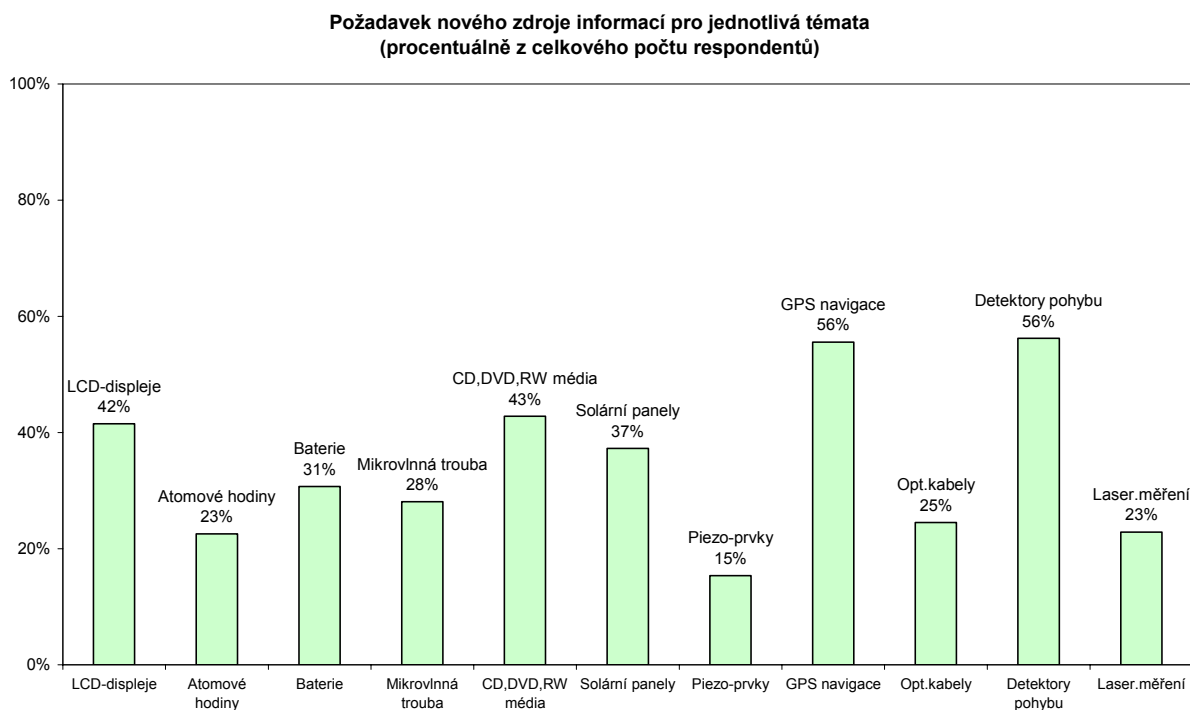
Vzhledem k poměrně malému počtu respondentů lze jen těžko vyvozovat nějaké obecnější závěry, ale za poměrně zajímavý lze považovat velký rozdíl v preferencích tématu „Detektory pohybu“.

U většiny ostatních témat a jejich zajímavosti se studenti s pedagogy shodnou, takže je možné konstatovat, že názory pedagogů většinou odpovídají požadavkům studentů, až na jedno dílčí, výše zmíněné téma.

1.5 Závěr a shrnutí výzkumu

Pro sestavení konečného pořadí vytvoříme graf, do kterého zahrneme pouze takové odpovědi, které vybraly dané téma za zajímavé a navíc k tomuto tématu požadují nový zdroj informací. Toto pořadí již tedy nevypovídá tak přesně o celkové zajímavosti jednotlivých témat, ale pro naši potřebu poslouží o něco lépe – Pomůže nám vybrat nejzajímavější témata z dnešního technického světa u kterých navíc existuje největší poptávka po novém zdroji informací.

Graf 4 – Požadavky nového studijního textu



Jak bude patrné z porovnání s pořadím témat podle celkové zajímavosti, tvoří i zde první šestici stejná skupina témat, odlišné bude pouze jejich pořadí, které pouze nepatrně ovlivní prostorovou dotaci pro jednotlivá témata ve výsledném textu.

Tabulka 1.f – Variace pořadí témat

Pořadí podle „celkové zajímavosti“	Pořadí podle „požadavku nového zdroje informací“
1) CD, DVD, RW-média	1) Detektory pohybu
2) GPS navigace	2) GPS navigace
3) Detektory pohybu	3) CD, DVD, RW-média
4) LCD-displeje	4) LCD-displeje
5) Baterie	5) Solární panely
6) Solární panely	6) Baterie

Jak bylo naznačeno dříve, budou nejspíše kapitoly 5) a 6) spojeny do jedné obsáhlejší, zabývající se tématem „Alternativní zdroje energie“. Dále bude přidána kapitola „Piezo-materiály“, protože se domníváme, že jejich špatné umístění v dotazníku je způsobeno nízkou informovaností studentů o jejich významu.

Část 1. – Výkladové kapitoly

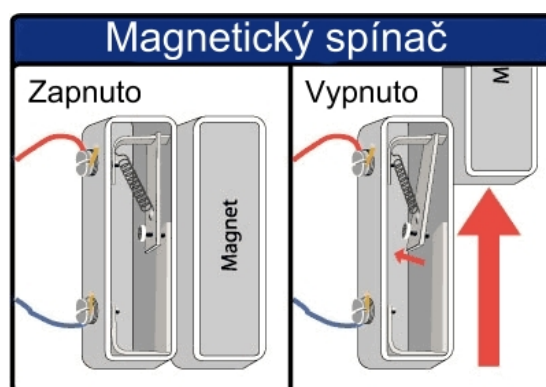
1. Detektory pohybu

1.1 Zabezpečovací zařízení

I když dnes mají pohybové senzory řadu různých využití v automatizaci – otevírání dveří, rozsvěcení světel, ovládání ventilace, apod., jejich původním určením byla elektronická ostraha zabezpečených prostorů. Tyto detektory ovšem nejsou jedinou součástí komplexního zabezpečení. Velmi často se využívají doplněné dveřními či okenními kontakty a spínači, nebo světelnými závory.

1.2 Kontaktní či bezkontaktní elektrické spínače

Základním principem těchto bezpečnostních prvků je využití elektrického obvodu jako „hlídače“. K elektrickému obvodu, jehož součástí je spínač, namontovaný na rámu dveří či okna, připojíme hlídací obvod pomocí relé. Ve chvíli, kdy dojde k přerušení proudu v primárním obvodu (otevření dveří či okna způsobí rozpojení spínače), relé sepne obvod sekundární, jehož součástí mohou být různé ochranné prvky – např. siréna akustického alarmu. Namísto klasických kontaktů se častěji používají bezkontaktní spínače – buďto magnetické (viz obrázek), nebo polovodičové, fyzikálně založené na **Hallově jevu**. Výhodou jednoduchých magnetických spínačů je jejich nízká výrobní cena v porovnání s Hallovými snímači.



Obrázek 1.1 – Magnetický kontakt

1.2.1 Hallův jev

Vedení elektrického proudu v polovodiči je realizováno volnými nosiči náboje – elektrony, či dírami. Vložíme-li polovodič do vhodně orientovaného magnetického pole, začne na volné náboje působit magnetická síla. Její velikost je dána následujícím vztahem :

$$F_m = B \cdot e \cdot v,$$

kde B je velikost magnetické indukce, e je náboj elektronu a v je velikost jeho rychlosti.

Na této síle je důležitý směr jejího působení – síla působí **kolmo** na směr pohybu náboje i magnetických siločar. Vysvětlení :

Síla, jakožto vektorová veličina, není určena jednoznačně svou velikostí. Přesnější vztah, určující velikost i směr magnetické síly, vypadá takto :

$$\vec{F}_m = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Rychlost i magnetická indukce jsou totiž také vektorové veličiny.

Dva vektory můžeme mezi sebou násobit dvěma různými způsoby :

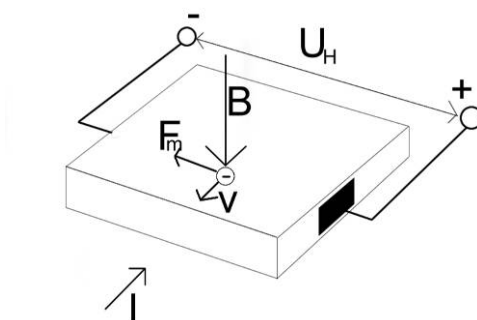
skalární součin – výsledkem je skalár (jedno číslo)

vektorový součin – výsledkem je vektor (tři složky ve směru os X, Y, Z), kolmý k oběma násobeným vektorům (tři čísla).

Tento typ součinu (vektorový součin) vystupuje právě v našem vztahu.

1.2.2 Praktické využití Hallova jevu

Prochází-li elektrický proud polovodičovou destičkou, pak se po vložení destičky do magnetického pole trajektorie elektronů (či děr) vychýlí. Toto vychýlení způsobuje právě magnetická síla. Protože na každou stranu destičky dopadne různý počet elektronů, vznikne mezi elektrodami elektrické napětí. Toto napětí se nazývá Hallovo napětí (V obrázku značeno U_H).



Obrázek 1.2 – Hallův jev

Oproti kontaktním či magnetickým snímačům je výroba Hallovy sondy nákladnější. Navíc tyto snímače potřebují stálý přísun elektrického proudu, což znamená větší spotřebu energie a více přírodních vodičů.

1.3 Světelné závory

U bezpečnostního systému z předchozího odstavce je pro jeho správnou funkci nutné, aby došlo k rozepnutí či sepnutí obvodu. Jinými slovy řečeno, musí se pohnout kusem nábytku, dveřmi, okenním rámem, případně stoupnout na specifické místo na podlaze (pro nášlapný spínač). Proto je spolehlivost tohoto zařízení velmi omezená. Dokonalejším střežením objektu je světelná závora. Základem je zdroj světla, nejčastěji laserového paprsku (s vlnovou délkou mimo viditelné spektrum) a snímač, na který tento paprsek dopadá (zpravidla polovodičová fotodiody). Paprsek může ve vhodné výšce procházet podél stěn místnosti, a střežit tak okna i dveře naráz. Ve chvíli, kdy je paprsek přerušen, sníží se proud, protékající fotodiodou, což lze využít podobně jako prosté rozpojení primárního obvodu v předchozím případě.

Schopnost fotodiody reagovat na dopadající světlo změnou vodivosti umožňuje **fotoelektrický jev**.

Za jeho teoretické zdůvodnění byla udělena Nobelova cena roku 1921 Albertu Einsteinovi.

1.3.1 Fotoelektrický jev

Má velký význam pro polovodičové prvky - fotodiodu či fotorezistor - které mění svou elektrickou vodivost v závislosti na jejich osvětlení. Využívají se jako další prvek právě u automatického osvětlení – přes den, když je dostatek přirozeného světla, je zbytečné, aby se svítidlo rozsvěcovalo pokaždé, když kolem něj někdo projde. Proto je možné u tohoto osvětlení nastavit citlivost – má-li se zapínat pokaždé, nebo pouze za temné noci. Tato citlivost je dána právě mezním proudem, vyvolaným osvětlením.

Fyzikální podstatou změny vodivosti těchto prvků je **vnitřní fotoelektrický jev**.

Elektromagnetické záření (např. světlo) lze považovat za proud „částic“, zvaných **fotony**. Každá tato „částice“ nese s sebou energii, vyjádřenou vztahem:

$$E = h \cdot f$$

(Tímto objevem položil roku 1900 Max Planck základy kvantové fyziky. Konstanta h je tzv. Planckova konstanta, její hodnota je $h=6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s, je jednou z nejdůležitějších konstant moderní fyziky).

Toto „kvantum energie“ ($h \cdot f$) je považováno za jeden „foton“ – proud těchto částic tvoří elektromagnetické vlnění s frekvencí f .

Když na atomy látky dopadnou tyto fotony, určitá část se jich v této látce pohltí – zaniknou tak, že předají svou energii elektronům v obalech atomů. Je-li tato energie dostatečná, pak může elektron obal atomu opustit – změnit se na volný elektron. Tento volný elektron pak slouží jako nosič el. náboje a umožňuje vedení el. proudu v dané látce.

S uvolněním elektronu buď z povrchu kovu pryč (vnější fotoelektrický jev), nebo z obalu atomu do látky v podobě volného (vodivostního) elektronu souvisí pojem „**výstupní práce**“ elektronu z povrchu kovu, případně „**vazebná energie**“ elektronu v obalu atomu – tyto veličiny udávají potřebné hodnoty energie – či pomocí Planckova vztahu – frekvence záření, potřebné pro vznik fotoefektu.

Některé kovy, např. cesium či sodík, mají hodnotu výstupní práce takovou, že potřebná min. vlnová délka (zvaná mezní vlnová délka) pro uvolnění elektronu je 642 nm (cesium) 544 nm (sodík), což odpovídá viditelnému světlu (Rozsah 390-760nm)

Fotorezistor – je vyroben z látky, která má bez osvětlení velmi málo volných elektronů (nejčastěji CdS). Podle množství dopadajícího záření klesá jeho odpor – jinak řečeno dopadající fotony vytvářejí nové volné elektrony.

Fotodioda – prvek tvořený jako klasická polovodičová dioda PN přechodem. Při dopadu fotonů klesá elektrický odpor (v propustném směru), případně vzniká na elektrodách el. napětí (v závěrném směru).

1.4 Pasivní detekce pohybu

Kdyby člověk sám byl zdrojem „světla“, bylo by snadné detekovat jeho přítomnost – v místnosti bez lidí by byla tma, a na „svítícího“ člověka by reagoval některý z výše zmíněných fotocitlivých polovodičových prvků (fotodioda, fotorezistor). Člověk však jak víme „nesvítí“. Přesto určité záření vydává – tak jako každý objekt s nenulovou teplotou.

1.4.1 Tepelné záření

Nejprve stručné uvedení fotometrických (radiometrických) veličin.

Každý zdroj záření (např. vlákno žárovky) uvolňuje fotony, kde každý z nich odnáší určitou energii. Ta je dána výše zmíněným Planckovým vztahem $E = h \cdot f$. Energie, vyzářená zdrojem za 1 s, vyjadřuje **zářivý výkon** zdroje. Vydělíme-li tento výkon plochou zdroje, dostaneme tzv. **intenzitu vyzářování**, zpravidla označovanou písmenem M_e , s jednotkou $W \cdot m^{-2}$.

Každé těleso neustále přijímá ze svého okolí energii v podobě záření. Některé tělesa vytváří dokonce přebytečnou energii sama (například lidské tělo). Každý z nás odvádí teplo například při pocení - vypařování vody. Tento způsob přeměny energie by sám na udržování stálé teploty lidského těla nestačil. Proto je každý z nás také zdrojem teplotního záření.

Přesný vztah, umožňující určení intenzity vyzařování pouze na základě teploty platí pro tzv. „černé těleso“. (Model tělesa, které má tu vlastnost, že pohltí všechno dopadající záření. Žádné neodrazí - proto by se jevílo jako „černé“ nejen ve viditelném spektru).

Intenzita vyzařování „černého tělesa“ je dána Stefan-Boltzmannovým zákonem:

$$M_e = \sigma \cdot T^4,$$

kde T je **termodynamická teplota** (teplota, měřena v Kelvinech, kde $0^\circ\text{C} = 273,15\text{ K}$), σ je tzv. Stefan-Boltzmannova konstanta, její hodnota je $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Pomocí tohoto zákona se můžeme pokusit odhadnout zářivý výkon běžného člověka (teplota $36,5^\circ\text{C}$, plocha $0,8\text{m}^2$).

Problém : Jaký je přibližný zářivý výkon běžného člověka?

Řešení : Výkon označme P . Tento výkon je roven intenzitě vyzařování, dané S-B zákonem, vynásobené plochou lidského těla ($S = 0,8\text{m}^2$).

$$P = M_e \cdot S = \sigma \cdot T^4 \cdot S$$

Pokud by se tedy lidské tělo chovalo jako „černé těleso“, vyzařovalo by do svého okolí každou sekundu přibližně 400 J. Protože lidské tělo se nechová jako černé těleso, vyzařuje energii zhruba 4-5krát menší. Zářivý výkon lidského těla je tedy zhruba 80 – 100 W

Rozložení vyzařovaných vlnových délek je dáno poměrně složitou funkcí. Její experimentální tvar byl v rozporu s představami klasické fyziky, podle kterých by měl podíl energie růst pro zkracující se vlnové délky (funkce by tedy neměla mít maximum) – tento rozpor bývá označován jako „ultrafialová katastrofa“. Daný problém se podařilo vysvětlit již výše zmíněnému M. Planckovi, mimo jiné díky předpokladu o kvantové povaze vyzařování a výše zmíněného vztahu pro energii záření $E=h \cdot f$. Pro nás je důležité vědět, že tato funkce nabývá svého maxima - pro vlnovou délku běžně značenou jako λ_{max} . (Jinak řečeno – různě teplá tělesa jsou jinak barevná – při teplotě 600°C vydává těleso dostatečné množství záření i ve viditelném spektru. I když maximálně vyzařovaná vlnová délka je stále ve spektru infračerveném). Vztah mezi teplotou a maximálně vyzařovanou vlnovou délkou udává **Wienův posunovací zákon**:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T},$$

kde b je konstanta s hodnotou $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.

Pro lidské tělo vychází tato hodnota asi 9400 nm ($9,4\text{ }\mu\text{m}$). Vlnové délky viditelného světla se pohybují v rozsahu 390nm (ultrafialové) až 760 nm (červené). Lidské tělo vyzařuje tedy v oblasti infračervené (vlnové délky infračerveného záření jsou větší než u červeného světla).

Lidské tělo tedy vyzařuje v infračervené oblasti, celkový vyzařovací výkon je 80-100W. Těto vlastnosti využívají pasivní infračervené detektory (zkratka PIR).

1.4.2 Pyrosenzor

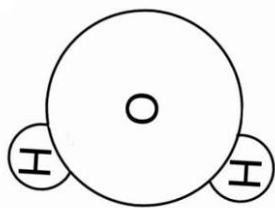
Základem tohoto typu detektorů je senzor z pyroelektrického materiálu. Pyroelektrický jev bude podrobněji rozebrán v kapitole Piezo- a pyro-materiály. Zde stačí uvést, že vlastností těchto materiálů je vznik elektrického napětí vlivem změny teploty. Zahřátí totiž ovlivňuje rozložení atomů v krystalové struktuře a následkem této změny dochází v materiálu ke změně **polarizace**. Uvnitř pyroelektrických materiálu se objeví nenulová hodnota elektrické intenzity při změně teploty i bez přítomnosti vnějšího elektrického pole. O pyroelektrickém jevu je pojednáno, spolu s jevem piezoelektrickým, v samostatné kapitole

1.4.3 Polarizace dielektrika

Vlivem vnějšího elektrického pole se mění rozložení nábojů uvnitř izolantu. Kladné náboje se posouvají ve směru elektrické intenzity, záporné opačně. Uvnitř původně neutrální látky vzniká vnitřní elektrické pole, jehož intenzita míří opačně, než intenzita, která polarizaci způsobila.

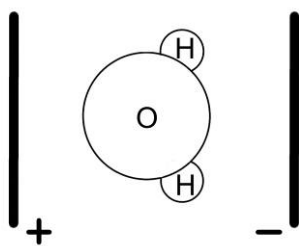
Základní polarizace je tzv. elektronová – obaly atomů se posouvají opačným směrem, než jádra – atom se tím částečně deformuje. Je-li intenzita vnějšího pole dostatečně velká, elektrony se od jader atomů odtrhnou. Proces, při kterém atomy ztrácí elektrony ze svých obalů, se nazývá ionizace.

Další možností je polarizace orientační – natáčení molekul – např. voda, složená ze dvou molekul vodíku a jedné molekuly kyslíku. Celkově je elektricky neutrální, ale rozložení elektrického náboje v ní není rovnoměrné. Atomy vodíku nejsou totiž umístěny kolem kyslíku symetricky, ale více k jedné straně. Takovým molekulám se říká „polární molekuly“. Jejich hlavní vlastností je právě změna orientace vlivem vnějšího pole. (Konkrétně u vody se toto využívá v mikrovlnných troubách – molekuly se vlivem elektrického pole „roztočí“, čímž vzroste jejich kinetická energie. To makroskopicky znamená vyšší teplotu látky).



Obrázek 1.3 – Polární molekula H_2O

Orientace molekul vody jsou v látce náhodné. Tyto molekuly ovšem reagují na elektrické pole.



Obrázek 1.4 – H_2O v elektrickém poli

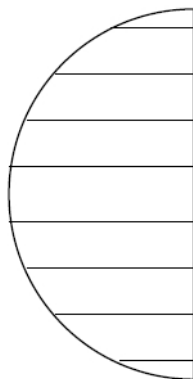
Pod vlivem elektrické intenzity se molekula natočí tak, že svou „zápornější“ částí – atomem kyslíku se posune ke kladné elektrodě, „kladnější“ vodík k záporné elektrodě. V mikrovlnné troubě se polarita desek mění s frekvencí 2,5 GHz. Tato frekvence je totiž pro polarizaci tou nejvhodnější – rezonanční.

Mikrovlnná trouba ohřívá tedy pouze vodu. A to nejen na povrchu, ale i uvnitř materiálu. Suché věci mikrovlnka neohřeje.

1.4.4 Pomocné části detektoru

Infračervené záření, vycházející z lidského těla je soustředěno na okénko pyroelektrického senzoru pomocí spojné čočky. Jak jistě víte, index lomu závisí na vlnové délce záření. Čím je vlnová délka větší, tím méně se světlo na rozhraní láme. Na infračervené světlo tedy potřebujeme čočku s velkou optickou mohutností. Protože vyrobit takovou čočku klasickým způsobem by bylo obtížné, používají se zvláštní, tzv. Fresnelovy (čti Frenelovy) čočky.

Při jejich konstrukci se využívá toho, že ke změně směru chodu paprsku dochází pouze na rozhraní. proto je možné z čočky „vynechat“ tlustou vnitřní vrstvu skla a vyrobit tak tenkou čočku s velkou optickou mohutností.

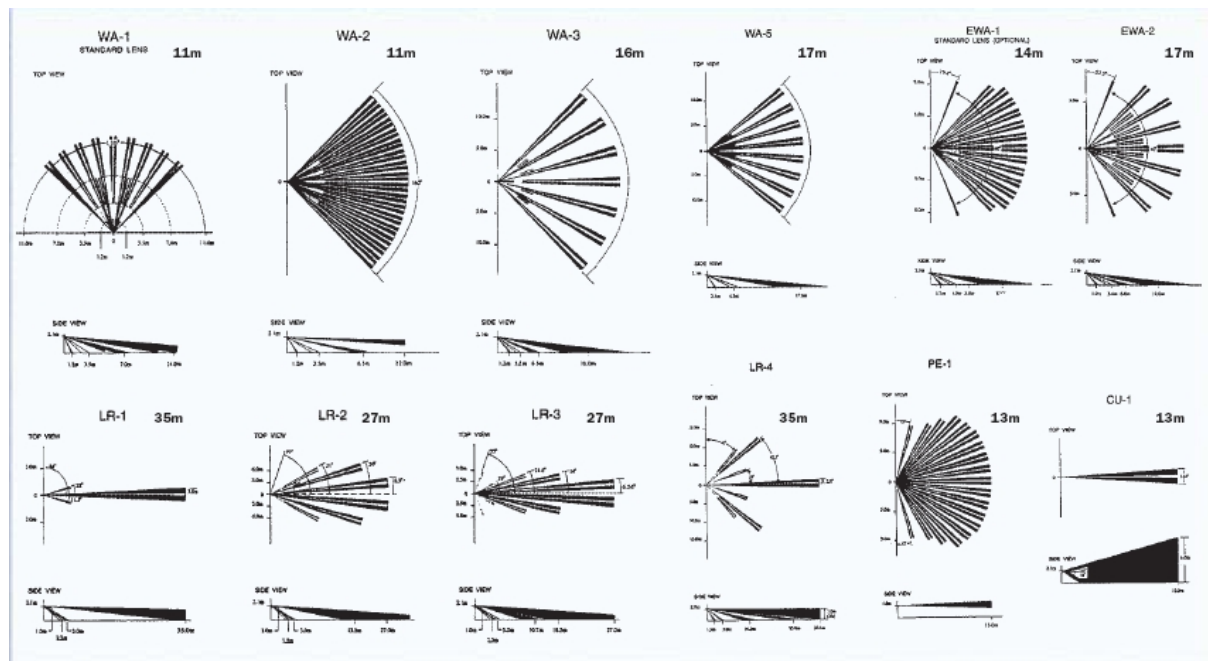


Obrázek 1.5 – Spojná čočka



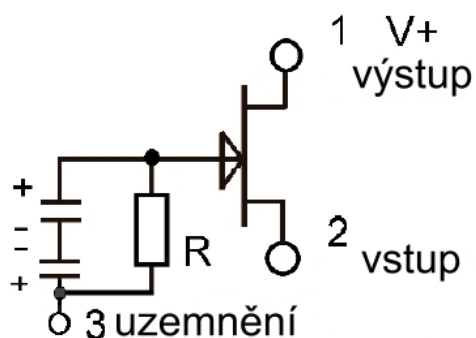
Obrázek 1.6 – Fresnelova čočka

Čočky jsou konstruovány tak, aby nepokrývaly celý střezžený prostor, ale jen jeho určité výseky. Tato vlastnost je důležitá proto, aby detektory dokázaly správně vnímat pohyb tepelných zdrojů ve střezženém prostoru. Dále konstrukce čoček umožňuje nastavit detektory tak, aby nereagovaly na drobné domácí zvířectvo. Tím se sníží možnost falešného poplachu. Různé čočky s různými charakteristikami střezžených oblastí ukazuje následující obrázek.



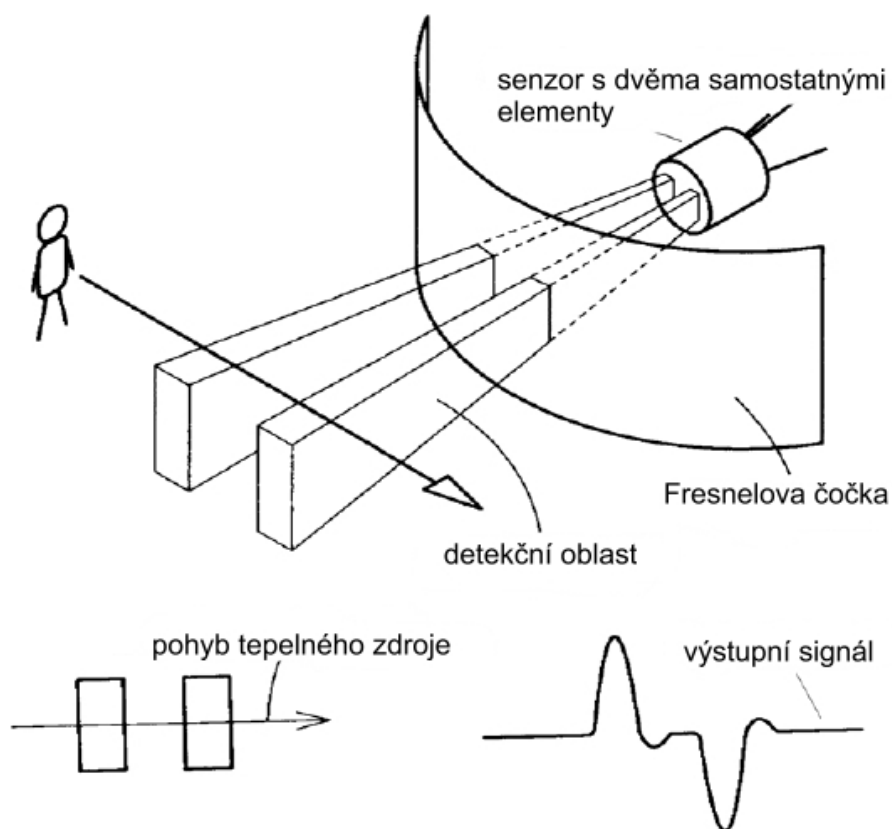
Obrázek 1.7 – Aktivní zóny různých čoček

Protože základem senzoru je pyroelektrický materiál, objevilo by se napětí při libovolném zahřátí senzoru – např. i změnou teploty v místnosti. Tento efekt se odstraní zapojením dvou čidel následujícím způsobem.



Obrázek 1.8 – Schéma zapojení PIR senzoru

Výrobci těchto detektorů pro zvýšení jejich efektivity doporučují umístit čidlo tak, aby se případná nepovolaná osoba musela pohybovat kolmo k detektoru. Jak poté taková situace vypadá, ukazuje další obrázek.



Obrázek 1.9 – Detekce průchodu polem detektoru

Pyroelektrické prvky jsou zapojeny, jak je patrné ze schématu na stránkách jednoho z výrobců, do série a s opačnou polaritou.

Pokud se oba senzory zahřívají rovnoměrně (roste teplota v místnosti), vzniklé náboje se vzájemně vyruší a detektor nic nezaznamená. Toto zapojení může mít za následek, že detektor nespustí poplach ani v případě, kdy půjdete přímo proti němu.

1.5 Aktivní detekce pohybu

Aktivní detektory se od pasivních liší hlavně tím, že nesnímají záření vydávané člověkem, ale odraz záření, které samy vydávají. Do prostoru vysílají ultrazvukové či mikrovlnné záření, které po odrazu opět snímají. Fungují tedy na podobném principu jako radar, či netopýří uši. Po přijmutí odraženého signálu a jeho vyhodnocení dokáží rozeznat ve střeženém prostoru pohybující se předmět, podobně jako radar umí na své obrazovce zobrazit na obloze letící letadlo.

1.5.1 Kmitání

Kmitání je takový pohyb, jehož základní charakteristiky (výchylka, rychlost, zrychlení) matematicky popisujeme pomocí goniometrických funkcí sinus (případně kosinus). V rovnici se vyskytují dále charakteristiky jako Amplituda = maximální možná hodnota popisované veličiny, fáze = posunutí počátku pohybu v čase (když popisujeme dva oscilátory, které začaly kmitat v různou dobu a máme pouze jednu časovou stupnici). Rovnice kmitů vypadá následovně:

$$y_{(t)} = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$y_{(t)}$ – okamžité hodnoty popisované veličiny (výchylky oscilátoru, jeho rychlosti...ale například i hodnota akustického tlaku) v daném čase t .

A – maximální možná hodnota popisované veličiny

ω – úhlová frekvence ($2\pi \cdot f$, kde f je frekvence kmitů, měřená v Hz. Vyjadřuje počet opakování za 1 s).

φ – fázový posun. Pokud je roven nule, pak má sledovaná veličina v čase $t = 0$ s hodnotu A . Toto odpovídá začátku pohybu z kladné krajní polohy (při popisu výchylky).

1.5.2 Vlnění

To lze nejstručněji charakterizovat jako přenos kmitání v prostoru. Dobře pozorovatelné je například kmitání klidné vodní hladiny, když do ní vhodíte kámen. V místě dopadu kamene se hladina prohne směrem dolů – a dále toto místo funguje jako oscilátor – kmitá nahoru a dolů. Protože jsou částice vody k sobě vázány silou, nemohou okolní částice zůstat v klidu, ale musí také začít kmitat. Tím ovšem rozkmitají i částice ve svém okolí (podle Huygensova principu – každé místo se stává novým zdrojem vlnění) – a kmitání se šíří po hladině dál, směrem od zdroje. Zatímco kmitající veličiny měnily své hodnoty pouze s časem, při popisu vlnění musíme vzít v úvahu i místo, kde veličinu popisujeme. Rovnice vlnění bude tedy navíc záviset i na vzdálenosti od zdroje:

$$y_{(t,x)} = A \cdot \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi \right]$$

Vidíme, že jedinou odlišností rovnice vlnění od rovnice kmitání, je posunutí v čase, způsobené konečnou rychlostí v šíření vlnění prostorem. Výchylka o hodnotě y nastává v místě, vzdáleném od zdroje o x , o něco později, protože tam vlnění musí nejprve dospět. Dále ovšem dané místo prostoru kmitá stejně jako zdroj. (Což platí pouze v ideálním případě, pokud by se vlnění netlumilo – sami určitě víte, že výška vlny na vodní hladině postupně klesá).

Souvislost frekvence zdroje f a rychlosti vlnění v vyjadřuje veličina **vlnová délka** λ . Je určena vztahem $\lambda = v/f$, měří se v metrech a vyjadřuje vzdálenost dvou míst, kmitajících se stejnou fází (fáze = argument funkce sinus v rovnici vlnění). Jinak řečeno – v místech, vzdálených právě o násobky vlnové délky, má zkoumaná veličina ve stejném čase stejné hodnoty.

Podstatnou vlastností vlnění je **interference** (česky – skládání). Pokud se v daném místě setkají dvě vlnění (např. vysílané a odražené), pak se hodnoty jejich výchylek sečtou a vznikne vlnění nové – složené.

Pokud se například vlnění setkají s opačnou fází, vzájemně se vyruší a v daném místě žádné vlnění nebude. Této vlastnosti se využívá u tzv. generátorů „bílého šumu“. V prostředí, kde vzniká periodický „hluk“, tento generátor daný zvuk zaznamená, fázově obrátí (z kladné hodnoty vytvoří tutéž zápornou) a vyšle z vysílače (např. reproduktoru) druhé vlnění, které se s původním vzájemně vyruší – nepřijemný hluk „zmizí“.

Důležitý je také **Dopplerův jev**. Pokud se zdroj vlnění, či jeho přijímač pohybují, bude vnímaná frekvence různá od skutečně vysílané. Zkušenosti s tímto rozdílem má každý, kolem kterého projíždělo rychlé auto či motorka. Pohybuje-li se směrem k vám, slyšíte vyšší zvuk, než skutečně vydává. Když vás mine, slyšíte při vzdalování zvuk naopak hlubší. Z tohoto rozdílu můžete určit rychlost pohybu.

Na tomto principu fungují ultrazvukové či mikrovlnné policejní radary. Radar vyšle vlnění dané frekvence, to se odrazí od pohybujícího se vozidla a opět se snímá. Z Dopplerova posunu lze určit, zda se objekt pohybuje k vám či od vás a jakou rychlostí.

Následující příklad popisuje vliv Dopplerova posunu na frekvence, vysílané policejním radarem.

Ultrazvuk frekvence $f = 33\,000\text{ Hz}$, šířící se vzduchem rychlostí $v = 330\text{ m.s}^{-1}$, má vlnovou délku $\lambda = v/f = 1\text{ cm}$. Tuto vzdálenost zvuk urazí za čas $t = \lambda/v = 0,00003\text{ s}$.

Automobil, odrážející vlnění, pohybující se rychlostí $u = 20\text{ m.s}^{-1}$, se za tuto dobu ovšem posune proti směru šíření o dráhu $s = u \cdot t = 0,0006\text{ m}$, tedy odráží vlnění o vlnové délce $\Delta\lambda = 1\text{ cm} - 0,06\text{ cm} = 0,94\text{ cm}$. Toto vlnění je pak snímáno jako vlnění o frekvenci $35\,000\text{ Hz}$. Z těchto vztahů je možné vyjádřit přímo rychlost, s kterou se pohybuje měřený automobil.

Shrnutí: V aktivních detektorech pohybu se využívá vlnění buďto ultrazvukové, či mikrovlnné (část elektromagnetického spektra mezi radiovými vlnami a infračerveným zářením, viz obrázek 1.10 na následující straně). Tyto detektory vysílají vlnění do svého okolí, vlnění se odráží od stěn a dalších objektů ve střezném prostoru a detektor ho přijímá zpět. Pokud se v prostoru nic nemění, je přijímané vlnění stále stejné. Pokud však do místnosti vstoupí člověk, a pohybuje-li se směrem k/detektoru, projevují se všechny výše zmíněné vlastnosti vlnění, přijímané vlnění se změní a detektor vyhlásí poplach.

1.5.3 Druhy vlnění

Vlnění okolo nás bývá nejčastěji 2 různých typů :

- 1) Zvukové (Ultrazvukové) – jeho původcem jsou mechanické oscilátory (membrána reproduktoru, struna a tělo kytary, kus plechu + kladivo, atd.). Frekvence oscilátorů se pohybují od 20 do 20 000 Hz. Vyšší frekvence (22 – 30 kHz) jsou už pro člověka neslyšitelné, na rozdíl od některých zvířat. Např. netopýři využívají odraz a zachycení ultrazvuku pro orientaci v prostoru.

Toto vlnění se šíří pouze pružným prostředím – vyplněným částicemi (vzduch, voda, kov). Jedná se o vlnění podélné - výchylky nastávají ve stejném směru, jakým se vlnění šíří.

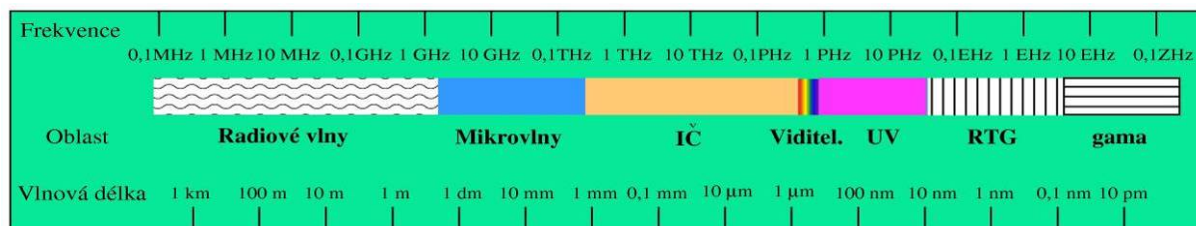
- 2) Elektromagnetické vlnění – jeho původcem jsou kmitající elektrické náboje. Od střídavých proudů v anténách rozhlasových vysílačů (radiové vlny), přes tepelné kmity molekul (mikrovlny, infračervené) až po kmitající elektrony v obalech atomů, či rozpad jader při štěpení (rentgenové a gama záření).

Elektromagnetické spektrum

Tabulka 1.a – Elektromagnetické spektrum

český název	frekvence	vlnová délka	anglické označení
extrémně dlouhé vlny	0,3 - 3 kHz	10^3 - 10^2 km	Extremely Low Frequency (ELF)
velmi dlouhé vlny	3 - 30 kHz	10^2 - 10 km	Very Low Frequency (VLF)
dlouhé vlny (DV)	30 - 300 kHz	10 - 1 km	Low Frequency (LF)
střední vlny (SV)	0,3 - 3 MHz	1 - 0,1 km	Medium Frequency (MF)
krátké vlny (KV)	3 - 30 MHz	100 - 10 m	High Frequency (HF)
velmi krátké vlny (VKV)	30 - 300 MHz	10 - 1 m	Very High Frequency (VHF)
ultra krátké vlny (UKV)	0,3 - 3 GHz	1 - 0,1 m	Ultra High Frequency (UHF)
mikrovlny	3 - 30 GHz	100 - 10 mm	Super High Frequency (SHF)
mikrovlny	30 - 300 GHz	10 - 1 mm	Extremely High Frequency (EHF)
infračervené záření	10^{10} - 10^{14} Hz	1 mm - 1 μ m	Infra Red (IR)
viditelné záření	10^{14} Hz	400 - 900 nm	Visible (VIS)
ultrafialové záření	10^{14} - 10^{16} Hz	400 - 10 nm	Ultra Violet (UV)
rentgenové záření	10^{16} - 10^{19} Hz	10 - 0,1 nm	X-Rays
gama záření	10^{19} - 10^{24} Hz	10^{-10} - 10^{-14} m	Gamma Rays

(Převzato ze serveru „Laboratorní průvodce“ . http://www.labo.cz/mft/rad_pasma.htm)



Obrázek 1.10 – Elektromagnetické spektrum

Velmi často se používají detektory kombinované – jeden pasivní, druhý aktivní. Jejich výhodou je vyšší spolehlivost a nižší náchylnost k falešným poplachům.

Nevýhodou aktivních detektorů je jejich spotřeba energie, výrazně vyšší než u pasivních. Pokud má být zařízení napájeno například z baterií, může tento faktor být rozhodujícím při výběru vhodného detektoru.

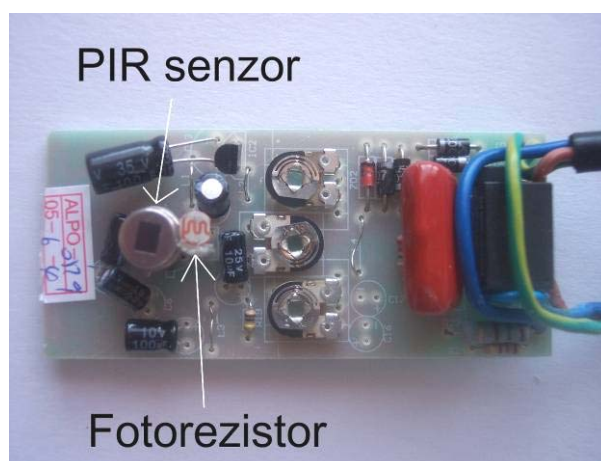
U většiny aktivních detektorů dochází k rozptylu vyzařovaného vlnění do mnoha směrů, detektor tak vlastně prozrazuje svou přítomnost. Toho využívají tzv. antiradary, zařízení která mají upozornit řidiče na přítomnost policejních radarů. (pozn. Spolehlivost těchto zařízení není příliš vysoká, vyznačují se velkým množstvím falešných poplachů. Použití těchto zařízení v automobilech není v ČR povoleno a je velmi draze pokutováno!)

1.6 Využití detektorů v běžném životě

Jak již bylo řečeno v úvodu, jsou dnes pohybové detektory využívány nejen jako spouštěče alarmů, ale slouží i k odevírání dveří či rozsvěcení světel. Příklad takové venkovní lampy ukazují následující obrázky.



Obrázek 1.11 – Tělo venkovní lampy



Obrázek 1.12 – Zapojení senzoru

Na detailu zapojení je vidět, že je možné u tohoto svítidla nastavit citlivost na množství denního světla – k tomu slouží právě fotorezistor pod senzorem.

Pozn : V části „měření“ naleznete měření pyroelektrického koeficientu jednoho z nejužívanějších materiálů – LaTGS, používaného jako aktivní látka právě v takovýchto teplotních čidlech.

2. Navigační systém – GPS

2.1 Úvodní informace, historie

Základy navigačního systému, známého dnes běžně pod označením GPS, byly položeny americkým ministerstvem obrany v roce 1973. Jak už to tak s řadou nových technologií bývá, jeho využití bylo původně plánováno pro armádu. Dnes užívaný název tvoří poslední 3 písmena zkratky NAVSTARGPS, odvozené od anglického názvu *Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*, což lze volně přeložit jako „systém pro určování zeměpisné polohy a času pomocí měření vzdáleností od navigačních satelitů“.

Plný název velmi přesně vystihuje určení tohoto systému. Než se podíváme blíže na principy navigace, uvedeme pár faktických údajů :

Navigační systém GPS má 3 složky.

- a) Kosmický segment – soustava 24 satelitů (+3 záložní), kroužících na šesti různých orbitálních drahách ve výšce 20 000km. Každý satelit nepřetržitě vysílá informace o své přesné poloze a čase.
- b) Pozemní řídicí segment – kontroluje polohy satelitů a provádí případné korekce vysílaných údajů. Monitorovací a řídicí stanice jsou rozmístěny po obvodu Země v oblasti rovníkového pásu.
- c) Uživatelský segment – vojenské či komerční přijímače, zpracovávající údaje od jednotlivých satelitů. Zobrazují přesný čas a zeměpisné souřadnice. Lepší přístroje jsou kombinovány s elektronickou mapou.

2.2 Princip navigace pomocí GPS

Na oběžné dráze krouží satelity na přesně určených a z pozemních stanic přesně monitorovaných drahách. První otázka pro čtenáře – jak lze měřit vzdálenosti satelitů, kroužících 20 000km nad zemským povrchem ?

Nápověda – Jakým způsobem určíme přibližně vzdálenost bouřky od naší polohy ?

Odpověď – při bouřce určíme čas mezi zablesknutím a hromem - rychlost světla je tak velká, že předpokládáme, že záblesk vidíme ihned, zatímco zvuk hromu k nám postupuje pouze běžnou rychlostí zvuku ve vzduchu, tedy zhruba 334 metrů za sekundu. Vzdálenost bouřky v kilometrech dostaneme tedy přibližně tak, že čas v sekundách mezi bleskem a hromem vydělíme třemi, využíváme tedy klasický vzorec: $s = v \cdot t$

2.2.1 Vzdálenost = rychlost \times čas

Vezmeme-li v úvahu výšku, v jaké navigační GPS satelity krouží (20 000km), v porovnání s rychlostí světla zjistíme, že k povrchu země signál letí asi 0,07 sekundy. V tomto případě si nemůžeme dovolit rychlost světla považovat za nekonečnou (jako v případě z nápovědy), ale právě naopak – její měřitelná hodnota nám poslouží k přesnému určení naší polohy. Vzdálenost lze totiž určit snadno, známe-li rychlost a čas, potřebný k jejímu uražení. (V soustavě SI je definována základní jednotka délky, 1 metr, jako dráha světla ve vakuu za daný čas).

Rychlost světla je určena přesně: $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$. Protože je tato konstanta určená „teoreticky“, nenajdete u ní v tabulkách udání chyby (\pm), jak je u jiných, experimentálně určených konstant běžné.

Čas – jeho měření je dnes velmi propracované, tuto veličinu umíme měřit přesněji než většinu ostatních. K přesnému měření se využívají již řadu let atomové hodiny. Podíváme se nyní na jejich princip.

2.3 Atomové hodiny

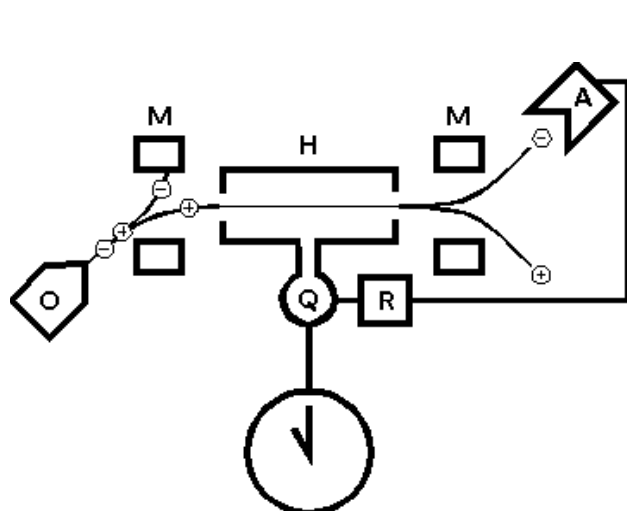
Hodiny, které k regulaci svého „tikání“ využívají vlastnosti atomů, zejména přesnou frekvenci záření, kterou atomy za speciálních podmínek vyzařují.

Tato přesnost je dána zákony kvantové fyziky – nám na tomto místě stačí vědět, že elektrony v obalu atomu mohou zaujímat pouze jisté diskrétní hodnoty energie (které nazýváme „hladiny energie“). Mění-li elektrony svou energii, je to vždy z dané hladiny na některou hladinu neobsazenou jiným elektronem (Pauliho vylučovací princip) a navíc je-li to na hladinu s nižší energií, pak při tomto energetickém „skoku“ uvolní elektron rozdíl energie v podobě fotonu, který přebytečnou energii odnáší z atomu pryč. Tento foton vnímáme jako elektromagnetické záření o pevně dané frekvenci.

Přesná hodnota této frekvence slouží jako základ **definice 1 sekundy** v soustavě SI :

„Sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia₁₃₃.“

Základem atomových hodin je mikrovlnný oscilátor s frekvencí 9 192 631 770 Hz. Atomy cesia v hodinách slouží k tomu, aby pomáhaly udržovat tuto frekvenci na konstantní hodnotě. Jednu sekundu pak určíme jako dobu, za kterou oscilátor 9 192 631 770krát kmitne. Schéma atomových hodin ukazuje následující obrázek:



Obrázek 2.1 – Atomové hodiny

O – pec, uvolňující jednotlivé atomy cesia (atomy se uvolňují z látky vysokou teplotou samovolně - termoemisi).

M – třídící magnety (magnetické pole zakřívuje dráhu atomů s různou energií různě, dále postupují jen ty požadované).

H – dutinový rezonátor (vlivem působení mikrovln přesně dané frekvence přechází elektrony na nižší energetickou hladinu. Mění se celková energie atomu).

M – třídící magnety (atomy se změnou hodnotou energie odvádí na detektor).

A – detektor (měří počet dopadajících atomů. Čím méně jich je, tím více jich změnilo svou energii v rezonátoru – což znamená, že tím přesněji jdou hodiny).

Q – mikrovlnný oscilátor (vysílané vlny působí na atomy v dutinovém rezonátoru).

R – regulační obvod (upravuje frekvenci oscilátoru na základě údajů z detektoru).

Otázka : Kdybychom se spokojili s udržováním této frekvence s přesností +/- 1Hz, za kolik let se atomové hodiny zpozdí o maximálně 1 sekundu ?

Odpověď : V každé sekundě by se hodiny zpozdily o jednu periodu kmitu mikrovlnného oscilátoru,

tedy o $\frac{1}{9\,192\,631\,770}$ sekundy.

Chyba, odpovídající jedné sekundě se tedy projeví nejdříve za 9 192 631 770 sekund, což je asi 290 let.

Otázka : Jaké nepřesnosti v určení dráhy světla se dopustíme, měříme-li čas s přesností výše uvedenou ?

Odpověď : Opět stačí použít vzorech pro dráhu rovnoměrného pohybu :

$$\Delta s = c \cdot \Delta t = 299\,792\,458 \cdot \frac{1}{9\,192\,631\,770} = 0,0326\,m = 3,3\,cm$$

Δs je hledaná nepřesnost určení dráhy, Δt je chyba měření času, c je rychlost světla.

Nejpřesnější laboratorní cesiové atomové hodiny dokáží být ještě přesnější – jejich chyba při měření je zhruba 10^{-14} sekundy, což je proti výše popsaným hodinám přesnost zhruba ještě 10 000krát větší.

Zpoždění o jednu sekundu nastane za 10 000 krát delší dobu, tedy zhruba za 3 000 000 let.

Čas patří díky této přesnosti k nejpřesněji měřitelným fyzikálním veličinám.

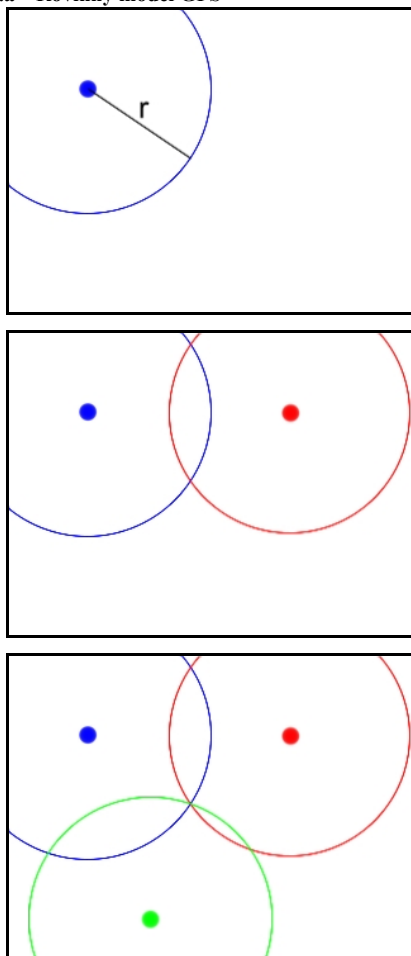
2.4 Rovinný model GPS

Abychom lépe pochopili, jak určení vzdáleností od satelitů pomůže přijímači určit přesnou polohu, vytvoříme zjednodušený model takového navigačního systému. Model se liší od skutečnosti zejména v následujících bodech :

- Určujeme polohu pouze v rovině (ne v prostoru).
- Polohu vysílačů známe zcela přesně (zatímco satelity se od udávané polohy mohou odchýlovat).
- Signál z vysílače k nám se šíří vakuem, tedy pevně danou rychlostí (ve skutečnosti ho zpomaluje atmosféra).
- Náš přijímač má v sobě vestavěné stejné atomové hodiny, jako jsou ve všech vysílačích, všechny tyto hodiny byly před nedávnem synchronizovány na jednom místě (Zatímco ve skutečnosti má v sobě přijímač pouze běžné hodiny, jejichž chod je řízen kmitáním krystalu křemene – jako v každých běžných digitálních hodinkách).

Průběh určování polohy v tomto modelu lze popsat následovně :

Tabulka 2.a – Rovinný model GPS



Zachytíme-li elektromagnetický signál z jednoho vysílače, dokážeme určit z rozdílu času mezi jeho vysláním a jeho zachycením pouze vzdálenost, ve které se od vysílače nacházíme.

Tato hodnota geometricky odpovídá poloměru kružnice, v jejímž středu leží daný vysílač.

(Pozn. - přesný čas odeslání signálu je součástí digitální „zprávy“, kterou tento signál nese – podrobnosti dále)

Přijmeme-li signál ze 2 vysílačů, musí být naše poloha v místě, kde se obě kružnice protnou, přesněji řečeno – jsou pouze 2 možnosti.

Známe-li naši polohu alespoň přibližně, můžeme odhadnout, který z daných průsečíků je ten hledaný.

Ve skutečné situaci se pohybujeme blízko povrchu země, což by v našem modelu odpovídalo poloze na třetí kružnici.

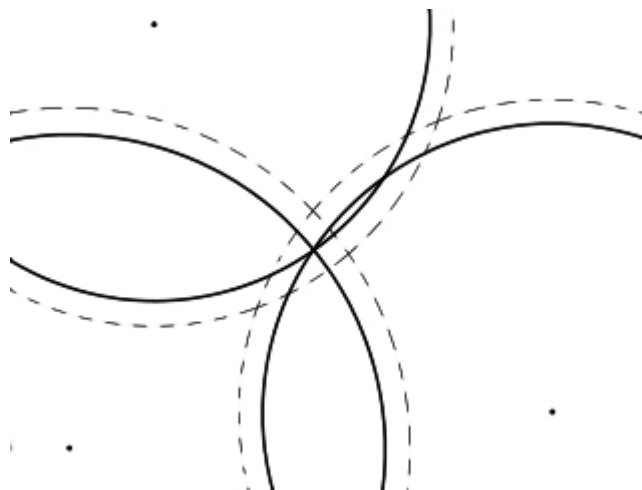
Když budeme mít k dispozici další vysílač, bude nejen naše poloha určena jednoznačně, ale ani nebudeme jako součást přijímače potřebovat přesné atomové hodiny. Náš čas si totiž dokážeme seřídít právě podle signálů z vysílačů.

V prostoru této situaci odpovídá příjem signálů ze 4 družic, ovšem přijímače jich používají i více, v rámci dalšího zpřesnění. Teoreticky by jich totiž mělo být „vidět“ z jednoho místa až 12 (1/2 celkového počtu).

2.4.1 GPS přijímač = atomové hodiny v kapse

Pokud známe v rovině polohu tří vysílačů a změříme-li svou vzdálenost od každého z nich, odpovídá to geometricky úloze o průniku 3 daných kružnic, které se protínají v jenom bodě. Polohu středů známe přesně, pro dané hodnoty poloměrů musíme přesně určit i jejich průsečík.

V případě, kdy budou naše hodiny trochu zpožděné, naměříme u všech kružnic poloměry o něco větší, než skutečně jsou, a pro pevně dané polohy středů se nám tyto tři kružnice již v jednom bodě neprotínou. Tuto úvahu demonstruje násl. obrázek (plné kružnice jsou pro přesný čas, přerušované odpovídají zpoždění našich hodin)



Obrázek 2.2 – Atomový čas pomocí GPS

Právě tato podmínka nám umožňuje seřídít hodiny přijímače v případě, že by nešly synchronně s hodinami vysílačů. Přijímač tedy nemusí obsahovat vlastní atomové hodiny, stačí mu méně přesné, ale mnohem menší a levnější hodiny s křemíkovým krystalem.

2.4.2 Model × skutečnost

Jak upravit předpoklady našeho modelu, aby lépe popisoval skutečnou situaci ?

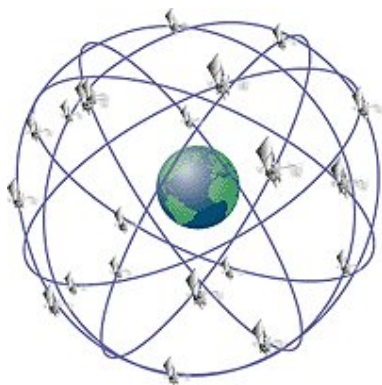
- Model by nemusel být rovinný, ale mohl by být prostorový – přibyla by navíc jedna dimenze, počet potřebných vysílačů k přesnému určení polohy by o jeden vzrostl. Matematické výpočty by byly složitější, protože by se počítaly průniky koulí, ale principiálně se nic nemění.
- Poloha vysílačů je určována s omezenou přesností – toto omezení se snažíme v reálné situaci minimalizovat přesným monitorováním skutečné polohy satelitů pomocí pozemních řídicích středisek, případně přidáním signálů z pozemních stanic s přesně danou polohou (tento systém se nazývá DGPS – Differential GPS)
- Snížení rychlosti signálu v atmosféře lze odstranit buď vhodným odhadem pomocí mat. modelu, nebo lépe – změnu vypočteme v konkrétní situaci tak, že budeme přijímat 2 signály o různých frekvencích. Protože každá frekvence se v atmosféře zpomaluje o různé hodnoty, dokážeme z těchto rozdílů toto zpomalení vypočítat. (Ve skutečnosti je tato oprava dostupná pouze armádě, či u dražších placených přístrojů, které dokáží přijímat nejen na veřejné frekvenci – kanál L1, ale i na druhé frekvenci, která je kódovaná a neveřejně přístupná – označení L2)
- Proč můžeme upustit od požadavku přesných atomových hodin jsme ukázali výše.

Body a), d), přestávají být problematické, všechna omezení přesnosti jsou dána pouze body b) a c)
Jak jsou tyto problémy řešeny v praxi ukážeme dále. Nejprve se ale zmíníme o podobě satelitem vysílané zprávy.

2.5 Technická realizace

2.5.1 Kosmický segment a vysílaný signál

Soustava 24 satelitů obíhá na 6ti různých drahách ve výšce 20 200km. Této výšce odpovídá oběžná doba 11^h58^{min} . (Návod na výpočet – porovnáním gravitační a dostředivé síly určíte obvodovou rychlost. Ze známé vzdálenosti od středu Země určíte obvod – délku dráhy. Oběžnou dobu určíte vydělením dráhy rychlostí).



Obrázek 2.3 – Dráhy satelitů



Obrázek 2.4 – GPS družice II generace

Družice vysílají na několika různých kmitočtech, každé toto vysílání má odlišnou funkci. Všechny frekvence jsou ovšem voleny tak, aby byly maximálně odolné vůči atmosférickým šumům. Ty zkreslením signálu způsobují další nepřesnosti v určení polohy.

Pro civilní sektor je důležitá zejména frekvence 1575,42 MHz, označovaná „L1“. Touto nosnou frekvencí je modulován digitální signál, vysílaný frekvencí 50 Hz. Jedna kompletní zpráva, tzv. „rámec“, se vysílá 12,5 minuty a je rozdělena do 25 „podrámců“ délky 30 sekund.

Každý podrámec má 5 částí o délce 300 bitů, první tři části obsahují data o aktuálním čase a poloze satelitu, poslední 2 jsou údaje o stavu ionosféry a poloze ostatních satelitů. (V každém podrámcí jsou údaje o jedné družici, celkový soupis všech poloh (tzv. Almanach) se načte až v průběhu celého rámce, tedy za 12,5 minuty. Proto trvá inicializace přijímače po zapnutí několik minut). Máme-li k dispozici pouze tento signál, známe pouze průměrnou hodnotu jeho zpoždění v atmosféře, odlišnou od té aktuální. Přesnost naší polohy je v takovém případě asi $\pm 5-10$ metrů.

Jak přijímač rozliší jednotlivé satelity ? I když vysílají všechny na stejné frekvenci, je signál každého z nich před odesláním pozměněn složením se signálem ve tvaru posloupnosti hodnot +1, -1, která je pro každou družici jiná, ale přitom pevně dána. Přijímač pak zkouší násobit přijímaný signál jednotlivými posloupnostmi, pokud trefí tu správnou, bude výsledek složení vždy +1 (+1.+1=1, -1.-1=1) a signál bude opět v původně vysílané podobě. Ostatní signály se zdají jako „šum“ a jsou také jako šum odfiltrovány spec. obvody.

Na frekvenci 1227,62 MHz, tzv. „L2“ je šířen další signál. Jeho hlavní odlišností je to, že je kódovaný, je tedy přístupný pouze pro speciální přijímače, zpravidla vojenské.

Protože se oba signály na různých frekvencích zpožďují v ionosféře různě, umí tyto přijímače jejich porovnáním určit přesnou hodnotu zpoždění signálu v daném místě a za daných podmínek. Odstraní tím chybu způsobenou tímto zpožděním a jejich přesnost je pak asi ± 3 až 5 metrů.

Satelity plní ovšem i jiné než navigační funkce. Jejich součástí jsou např. detektory, sledující odpálení balistických raket či provádění nepovolených jaderných zkoušek. Informace z těchto detektorů jsou přenášeny kanálem „L3“.

Další kanál, L4, slouží k přesnějšímu určení ionosférického zpoždění. Pro novou generaci satelitů (jejich vypuštění plánované na rok 2007) se počítá i s civilním kanálem „L5“, který bude sloužit jako nouzový a záchranný.

2.5.2 Pozemní segment – eliminace nepřesností polohy

Protože satelity vysílají údaje o své poloze, které jsou určeny pouze výpočtem, mohou se vlivem různých nepřesností v oběžné dráze od jejich skutečné polohy lišit. Odstranění těchto nepřesností mezi polohou udávanou vysíláním a tou skutečnou mají na starost pozemní řídicí a monitorovací střediska. Rozmístění ukazuje následující mapa.



Obrázek 2.5 – Rozmístění monitorovacích stanic (zdroj <http://www.kowoma.de/gps/Bodenstationen.htm>)

Další možností, jak zpřesnit určení polohy, je použít signál z pozemních vysílačů. U nich je jejich poloha přesně známa a s časem se nijak nemění. Systém který využívá těchto signálů se zpravidla označuje zkratkou DGPS – Differential GPS.

Systém podobný DGPS se plánuje také jako součást mobilních telefonů. Jako pozemní vysílače s přesně danou polohou budou využity vysílače jednotlivých operátorů. Už dnes je možné díky známé poloze vysílačů určit polohu mobilního telefonu poměrně přesně (Např. pro potřeby integrovaného záchranného systému při lokalizaci volajícího).

2.5.3 Uživatelský segment – od kompasu po autopilota

Přístroje pro příjem GPS signálu se prodávají v celé řadě variant. Od nejjednodušších, které zobrazují pouze zeměpisné souřadnice až po navigační přístroje, jejichž součástí je i elektronická mapa dané oblasti, s jejíž pomocí lze nejen plánovat trasy, nýbrž i ověřovat jejich dodržování.

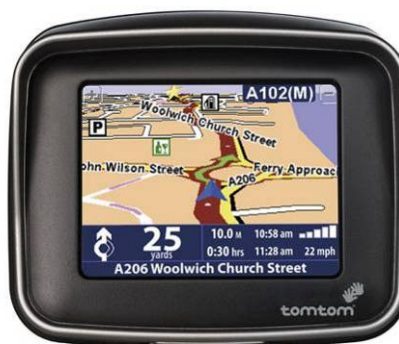
Přístroje dokáží nejen zobrazovat přesnou polohu a čas, ale mohou sloužit i k měření velikosti a směru rychlosti (chyba určení rychlosti je asi $\pm 0,1 \text{ m.s}^{-1}$).

GPS přijímače jsou také využívány k sledování přesné polohy odcizených automobilů, či navigaci řízených střel.

Obrázky GPS přijímačů:



Obrázek 2.6 – GPS kompas



Obrázek 2.8 – GPS s navigací



Obrázek 2.7 – GPS s mapou



Obrázek 2.9 – GPS - USB modul

2.6 Budoucnost satelitních navigačních systémů

V současné době vzniká evropská alternativa k systému GPS, nazvaná Galileo. Díky modernější konstrukci a přesnějším atomovým hodinám a hlavně určením pro civilní sektor bez omezení přijímaných signálů má dosahovat standardní přesnosti $\pm 0,5 \text{ m}$. Tento systém má být zpětně kompatibilní s GPS a využívat tak signálů obou systémů.

3. Optická záznamová média

3.1 Úvod a historie

Historie CD disků je starší více než 20 let. Jejich nástup byl motivován potřebou nové, kvalitnější podoby zvukového záznamu. Vznikly tedy jako náhrada vinylových gramodesek. Alternativ bylo několik, nakonec se nejvíce prosadily optické disky, vyvíjené v laboratořích firmy Philips od roku 1977. V pozdějších letech se přidaly další firmy – Sony a Matsushita. Oficiálně byl technické veřejnosti představen na konferenci v Eindhovenu roku 1982. Označení disku bylo CD-DA (kompaktní disk – digitální audio). I přes obavy z přílišné technické složitosti se disky prosadily. Nejdříve se disky a přehrávače objevily v Japonsku, o roku později ve specializovaných prodejnách v USA a Evropě. V roce 1985 dorazily CD přehrávače i k nám. Dostupnost disků byla ovšem omezená. Prodávaly se jako luxusní zboží pouze ve speciálních prodejnách TUZEX, nebo bylo nutné je dovážet tajně. Produkci českých CD disků zahájila firma Supraphon ve vlastní lisovně v závodu v Loděnicích u Prahy již roku 1988.

Další uplatnění našly kompaktní disky jako nosiče dat pro osobní počítače. Objem dat jednotlivých programů totiž v devadesátých letech výrazně rostl a kapacita do té doby používaných 3,5" disket s kapacitou 1,44 MB byla silně nedostačující. Např. operační systém Microsoft Windows 95, s velikostí instalačních souborů kolem 60-100 MB byl distribuován ve dvou variantách – balení 50 disket či 1 CD. Určitě víte, jak snadno se mohou data na disketě poškodit, a i jediná z 50 disket nečitelná instalaci znemožnila. V počítačích se výrazně začaly prosazovat CD-ROM mechaniky. (CD-ROM – kompaktní disk-paměť jen pro čtení „Read Only Memory“)

Další zlom se objevil kolem roku 1996, kdy se objevil zapisovatelný disk CD-R (kompaktní disk-zapisovatelný „Rekordable“) Ceny prvních tzv. „vypalovacích mechanik“ se pohybovaly nad hranicí 10 000,-. Přesto to v dobách, kdy běžné pevné disky měly kapacitu 2-4GB, znamenalo obrovský skok vpřed v možném objemu zálohovaných dat a velmi rychle se takové mechaniky začaly prosazovat.

Posledním krokem ve vývoji CD jsou média prepisovatelná - CD-RW (kompaktní disk-prepisovatelný „ReWriteable“).

První přehrávače dokázaly přehrát CD-DA disky, s CD-R a CD-RW ovšem spolupracovat nemusí. U novějších přístrojů tento problém není.

Dalším krokem ve vývoji optických datových médií jsou disky DVD. Zkratka znamená Digitální Video Disk, někdy ovšem bývá také interpretována jako Digitální Všestranný Disk (z angl. „Versatile“). Tyto disky jsou vlastně zdokonalenou verzí klasických CD. Pracují na shodném principu, ovšem jejich preciznější konstrukce i při zachování stejné velikosti umožňuje větší hustotu záznamu.

Dalším krokem jsou právě nastupující disky HD-DVD či Blu-Ray. Tento krok je zhruba stejným krokem vpřed jako od CD k DVD. Na jedno DVD se vejde asi 6krát více než na CD, stejný rozdíl v kapacitě je mezi HD-DVD či Blu-Ray a DVD.

3.2 Magnetický záznam

3.2.1 Magnetický záznam – předchůdce i současník optického

Předchůdci optických disků byly pro záznam zvuku - magnetofonové pásky, audiokazety, pro filmy a obraz - videokazety, pro počítačová data - diskety a pevné disky. Dnes přetrvává magnetický záznam pouze u pevných disků, ostatní média jsou již téměř definitivně nahrazena optickými, případně flash-disky.

3.2.2 Magnetizace

Při záznamu a opětovném čtení dat se u magnetických médií využívá jev zvaný „magnetizace“. Každá látka po vložení do magnetického pole na toto pole nějak reaguje. Některé materiály pole zesilují, jiné zeslabují. Nejvýznamnější skupinou jsou takové látky, které magnetické pole velmi výrazně zesilují, a po vyjmutí z tohoto pole samy dále mají magnetické vlastnosti.

Všechny látky lze z hlediska jejich reakce s magnetickým polem rozdělit na následující 3 skupiny :

a) Diamagnetické látky :

Jejich relativní permeabilita (koeficient, určující vliv látky na intenzitu vnějšího pole) je menší než jedna. Tzn. že tyto látky magnetické pole mírně zeslabují. Patří sem inertní plyny, ale i zlato, měď, rtuť.

b) Paramagnetické látky :

Vnější pole nepatrně zesilují, jejich relativní permeabilita je o něco málo větší než 1. Patří mezi ně sodík, draslík, hliník a další prvky. Atomy těchto látek vytvářejí vlastní magnetické pole, ale vlivem jejich tepelného pohybu je jeho orientace náhodná. Ani silné vnější magnetické pole nedokáže tyto látky za běžných teplot „zmagnetovat“. Předměty z těchto látek na vnější pole reagují velmi slabě.

c) Feromagnetické látky :

Mají také paramagnetickou strukturu, ovšem je možné je vlivem vnějšího pole zmagnetovat. Jejich relativní permeabilita se pohybuje řádově v hodnotách $10^2 - 10^5$. Na vnější pole reagují velmi silně. Známým příkladem takového materiálu je např. ocel. (s relativní permeabilitou = 8000).

Magnetizace probíhá tak, že vlivem vnějšího mag. pole se natáčí atomy v látce tak, aby se jejich vlastní magnetické pole orientovalo podle pole vnějšího (podobně, jako se magnetka kompasu natáčí podle magnetického pole Země).

Uvnitř látky, vlivem výměnných sil mezi atomy, vznikají i bez vnějšího pole, spontánně, poměrně velké oblasti (rozměry $10^{-3} - 10^{-6} \text{ m}$) souhlasně orientovaných atomů, tzv. magnetické domény. Protože jsou orientovány nahodile, navenek se látka magneticky neprojevuje. Pokud ji ovšem vložíme do magnetického pole, magnetické domény postupně přebírají stejný směr, určený směrem vnějšího pole. Jsou-li všechny domény orientovány stejně, je látka magneticky nasycená.

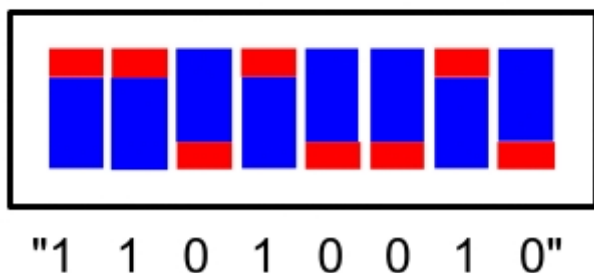
Po odstranění vnějšího pole tyto domény zůstávají orientovány souhlasným směrem – látka dále funguje jako magnet.

3.2.3 Praktické využití

Historicky první magnetický záznam byl založen na magnetizaci dlouhého tenkého stočeného ocelového drátu. Pro zmenšení hmotnosti a větší kompaktnost se začaly používat pásy, potažené tekou vrstvou oxidu železa. Počítače používaly ve svých počátcích tyto pásy k ukládání dat.

Záznamový pásek s feromagnetickou vrstvou

(orientované domény se chovají jako malé magnety)



Obrázek 3.1 – Magnetofonový pásek

Jako výhodnější způsob se ukázalo záznamovou stopu stočit do spirály, aby získala podobu disku. Odstraní se tím hlavní nevýhoda pásku – dlouhé vyhledávací doby způsobené neustálým převíjením pásku jsou u disku mnohem kratší, protože každé místo záznamové stopy je přímo přístupné.

Princip záznamu na magnetický disk je využíván v disketách či pevných discích.



Obrázek 3.2 – Vnitřek pevného disku

Ke snímání polarizace jednotlivých míst na disku se využívá tzv. GMR efekt (Giant MagnetoResistance) – senzory hlaviček mění v závislosti na směru polarizace svůj elektrický odpor.

Na obrázku vidíte, jakým způsobem může vypadat datový záznam na běžném pásku. Při záznamu se zmagnetovávají části povrchu pásku, potažené feromagnetickou látkou. Čtecí hlava poté reaguje na orientaci magnetických domén a snímá tak uložené informace.

Plotny běžného pevného disku se otáčí rychlostí 7 200 otáček za minutu. (Starší typy mají rychlost otáček 5 400, naopak rychlé spec. SCSI disky dosahují rychlosti až 10000 ot./sec).

Čtecí a záznamová hlavička se pohybuje nad plotnou ve výšce několik mikrometrů rychlostí až 60 m.s⁻¹. Je zřejmé, že při tak velikých rychlostech může dojít při manipulaci s diskem za provozu k poškození datové plotny i čtecí hlavy. Proto je nutné minimalizovat pohyb s počítačem během jeho provozu.

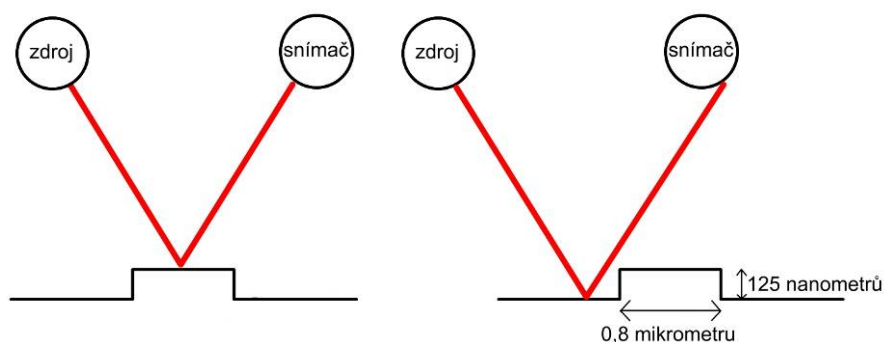
3.3 Optický záznam

3.3.1 CD – kompaktní disk

Hlavním problémem magnetického záznamu je jeho omezená životnost. Magnetofonové pásky, před příchodem CD nejrozšířenější způsob distribuce hudby, jsou mechanicky snadno ovlivnitelné, při mnohonásobném přehrávání se natahují a celkově kvalita záznamu postupně klesá. Další problém je snadné neúmyslné vymazání – jakékoli magnetické pole dokáže změnit orientaci magnetických domén a znehodnotit tak záznam. Proto vznikl požadavek na nové záznamové médium, které by tyto problémy odstranilo. Vývoj je pospán v úvodu, nyní se podrobněji podíváme na principy, jak se data ukládají a čtou.

Je nutné poznamenat, že na magnetofonových páscích se zvuk neukládal v digitální podobě (tedy jen dvěma orientacemi pro „0“ a „1“) ale analogově (amplituda zvuku v daném čase se přímo převedla na amplitudu magnetického pole, které ovlivňovalo orientaci domén). Zápis na CD je čistě v digitální podobě – což znamená složitější konstrukci přístrojů pro jeho přehrávání. Součástí CD přehrávačů musí tak být i tzv. DA (Digitálně - Analogový) převodník, který data mění na analogový signál.

Čtecí hlavou je snímací optika, reagující na dopadající tenký paprsek světla – laseru. U každého typu CD disku (lisovaný, CD-R, CD-RW) je určitým způsobem zajištěno, že odražený laser dopadá na senzor „přerušovaně“, a navíc podle doby osvětlení senzor rozlišuje stavy „0“ a „1“.

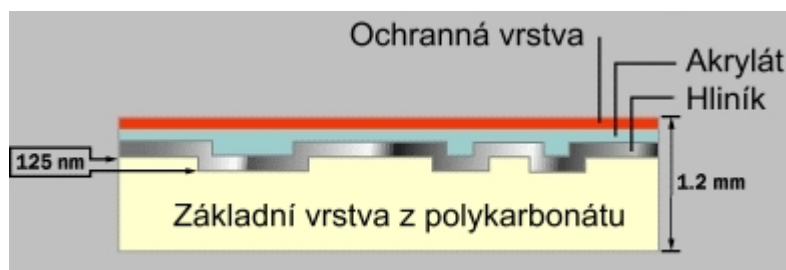


Na CD jsou oblasti, které odrážejí dopadající světlo na snímací senzor, střídané oblastmi, ze kterých světlo nedopadá. Senzor tedy data vnímá podobně jako „morseovu abecedu“ – jako posloupnost krátkých a dlouhých záblesků.

Obrázek 3.3 – Čtení dat z CD

3.3.2 Lisovaná CD

Následující obrázek ukazuje příčný řez CD-ROM diskem. Záznamová vrstva je zde tvořena hliníkovou fólií



Obrázek 3.4 – Lisované CD

Oblasti, odrážející laserový paprsek, jsou realizovány lisovanými výstupky v hliníkové fólii. Tato CD jsou relativně velmi odolná vůči poškrábání, navíc mají dobrou odrazivost (vysoký jas odraženého paprsku).

3.3.3 Zapisovatelné disky CD-R

Různé odrazivosti se u těchto médií dosahuje „spálením“ určitých míst ve vrstvě organického barviva, která je umístěna před reflexní vrstvou. Pro vypalování se používá větší výkon laseru, který je nutný pro narušení vrstvy barviva.

Jako organické barvivo používá téměř každý výrobce nějakou vlastní variantu. Nejužívanější možnosti ukazují následující tabulka :

Tabulka 3.a - Typy barviv záznamových vrstev CD-R

cyanin – záznamová strana disku má zelenou, či světlezelenou barvu
ftalocyanin – průhledný, disky tedy vypadají z obou stran stejně. Odolnější proti UV záření.
AZO – modrý disk. Opět větší odolnost proti UV záření než předchozí.

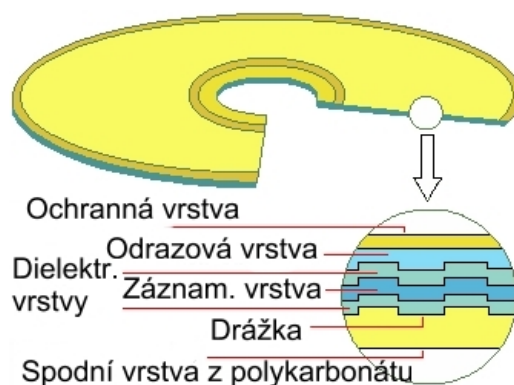
Výrobci se stále snaží vylepšovat materiály, používané pro CD-R. Je nutné zvýšit odolnost vůči UV záření, které může záznam poškodit, a dále se snaží dosáhnout co nejlepší odrazivosti.

Celkově menší odrazivost CD-R (i CD-RW) způsobuje, že některé starší mechaniky tato média neumí přečíst a pracují pouze s lisovanými CD.

3.3.4 Přepisovatelné disky CD-RW

Nad reflexní vrstvou je vrstva slitiny Ag-In-Sb-Te (Stříbro, Indium, Antimon, Telur). Odrazivost této vrstvy se mění v závislosti na fázi, ve kterém se tento materiál nachází. Je-li CD-RW prázdné, je celá tato vrstva v krystalické fázi, a paprsek laseru propouští.

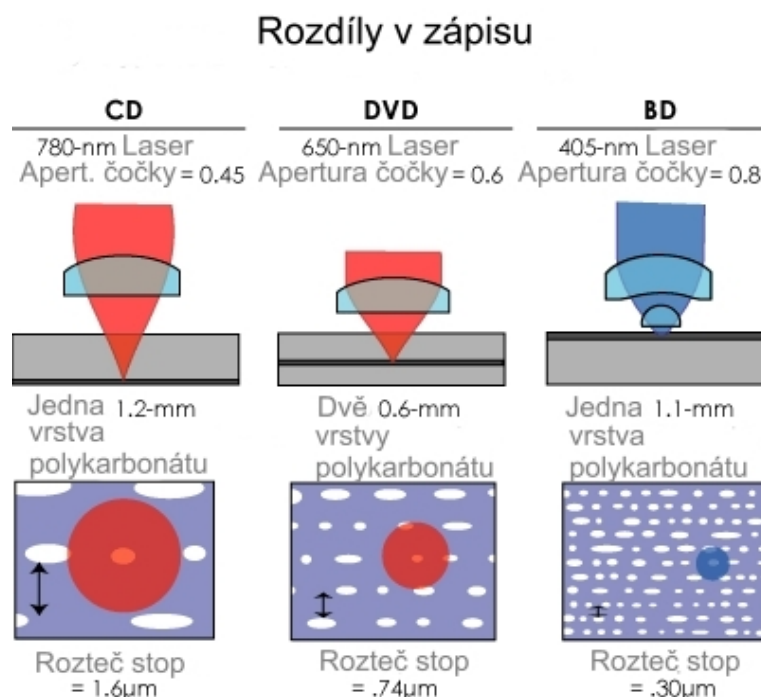
Během procesu vypalování se slitina zahřeje na 500-700°C, roztaví se a po ztuhnutí zůstane v amorfní fázi. Paprsek laseru amorfni slitinou neprojde a dané místo neodráží. Chceme-li disk znovu „smazat“, musíme celou vrstvu zahřát na teplotu kolem 200°C. V tomto případě chladne látka pomaleji a opět krystalizuje. V krystalické fázi paprsek látkou opět prochází a odráží se od reflexní vrstvy. Opakováním tohoto postupu se dá opakovaně mazat a zapisovat, i když tento proces není vratný dokonale – počet vymazání disků je omezen na maximálně několik stovek cyklů.



Obrázek 3.5 – Příčný řez diskem CD-RW

3.4 DVD – Digitální Všestranný Disk

Druhá generace optických záznamových médií. Větší kapacita je dosažena díky menší velikosti záznamových oblastí a menším rozestupům mezi jednotlivými stopami. Pro lepší zaostřování snímacího paprsku se používá laser kratší vlnové délky. Porovnání nejlépe ukazuje následující obrázek.



Obrázek 3.6 – Čtení z CD, DVD a Blu-Ray

Menší rozteč mezi záznamovými stopami u DVD disku znamená větší celkovou délku záznamové stopy – na disk shodných rozměrů se nyní vejde záznamová spirála s celkovou délkou asi 12 km (Stopa na CD měla délku „pouhých“ 5 km). hustota záznamových bodů je zhruba také 2 krát větší. Další uvolnění místo přinesl jiný způsob ukládání dat, který umožňuje využít větší část prostoru k vlastnímu záznamu dat, na úkor dat kontrolních.

Kapacita jednoho DVD disku dosahuje tedy 4,7 GB, což je zhruba 6ti násobek kapacity běžného CD.

Dále je možné zvětšit kapacitu disku využitím obou jeho stran, případně přidat více záznamových vrstev (dnešní DVD mají vrstvy max. 2, ale experimentuje se s disky s více vrstvami). Oboustranné dvouvrstvé DVD má pak kapacitu 17 GB.

DVD mají oproti CD ovšem i drobné nedostatky. Pro svou jemnější strukturu jsou DVD více náchylná k poškození, proto je vhodnější k zálohování důležitých dat používat i nadále klasických CD.

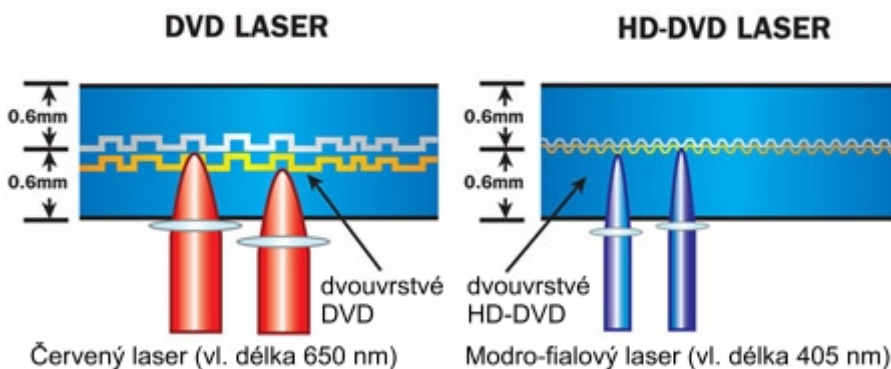
Na obrázku je kromě CD a DVD znázorněn i jeden ze zástupců právě nastupující nové generace optických datových médií, disk Blu-Ray. Tato generace je představována zatím dvěma různými standardy – kromě výše zmíněného patří do této generace i disk HD-DVD.

3.5 Nová média - HD-DVD, Blu-Ray

Tato právě nastupující generace optických disků je dalším zdokonalením standardu DVD. Dva různé vzájemně nekompatibilní formáty se objevily proto, že se společenství firem, které měly na starost vývoj disků HD-DVD, neshodlo na jeho jednotné podobě. Rozhodnutí, který ze systémů nakonec nahradí dnešní DVD závisí nejen na kvalitě záznamu, nákladech na přehrávače, ale také na obchodní strategii jednotlivých vlastníků odpovídajících patentů. (Příkladem z historie může být 20 let starý boj o formát videokazet – ze systémů Beta, Video2000 a VHS zvítězil tehdy posledně jmenovaný, i když kvalitou záznamu nedosahoval nejlepších výsledků).

1) HD-DVD – vylepšení klasických DVD disků. Ještě menší rozměry výstupků (umožněné kratší vlnovou délkou snímacího laseru), a komprese zaznamenaných dat. Celkově kapacita navýšena na trojnásobek běžného DVD (15 GB v jedné vrstvě). V mechanikách na HD-DVD disky bude možné přehrávat i běžná DVD.

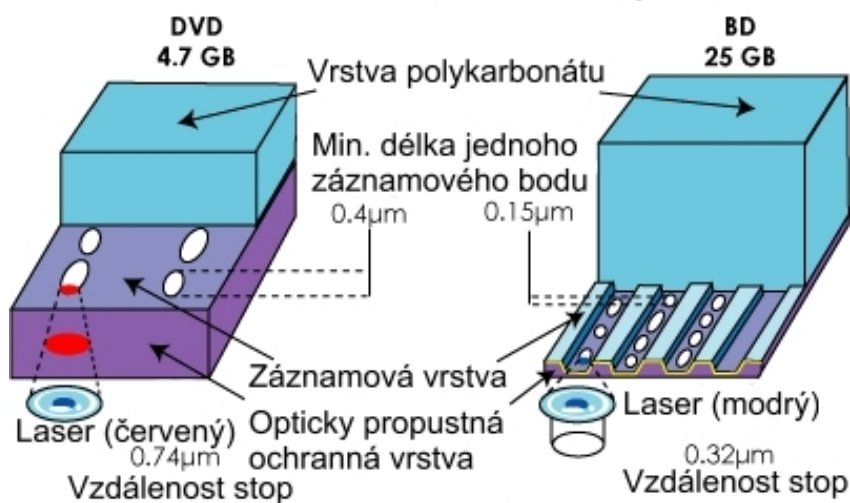
Rozdíl mezi DVD a HD-DVD



Obrázek 3.7 – HD-DVD

2) Blu-Ray – Také používá laser kratších vlnových délek, navíc ještě přesněji zaostřený. Kapacita jednostranného jednovrstvého disku je téměř 30 GB.

Porovnání DVD a Blue-Ray disků



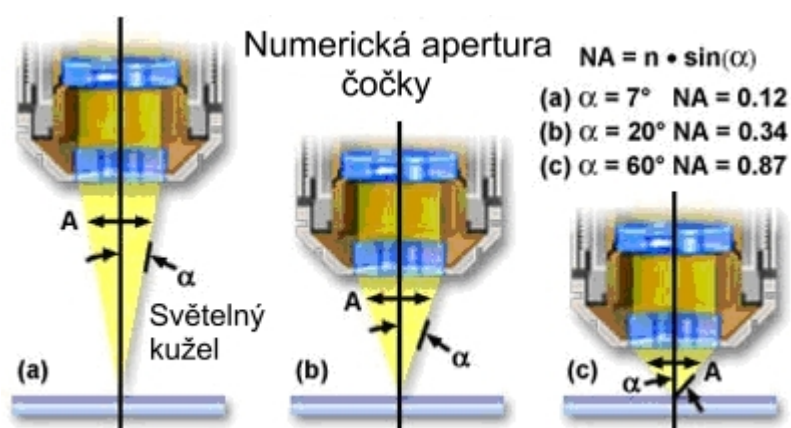
Obrázek 3.8 – Blu-Ray

Na závěr uvedeme ještě tabulku, která porovnává charakteristiky jednotlivých optických disků.

Tabulka 3.b - Srovnání charakteristik optických disků

Specifikace	CD-ROM	DVD-ROM	HD-DVD	BD-ROM
Průměr disku	120 mm	120 mm	120 mm	120 mm
Hloubka záznamové vrstvy	1,1 mm	0,6 mm	0,6 mm	0,1 mm
Vzdálenost stop ve spirále	1600 nm	740 nm	400 nm	320 nm
Délka prohlubní	834 nm	400-440 nm	204 nm	138-160 nm
Vlnová délka laseru	780 - 790 nm	635 - 650 nm	405 nm	405 nm
Numerická apertura	0,45	0,6	0,65	0,85
Max. datové přenosy při 1x	1,41 Mbps (150 kB/s)	11,08 Mbps (1385 kB/s)	36,55 Mbps (4680 kB/s)	36 Mbps (4600 kB/s)
Kapacita	650 / 700 MB	4,7 - 17,0 GB	15 - 60 GB	23,3 - 54 GB+

Význam údajů v jednotlivých řádcích jsme již schopni bez problémů rozluštit. Vysvětlení žádá pouze pojem „numerická apertura“. Numerická apertura (zkratka NA) je vlastnost čočky zapisovacího laseru. Je definována jako součin indexu lomu materiálu čočky a hodnoty funkce sinus(α), kde α je úhel, který svírá „stěna kužele laseru“ s kolmicí na směr šíření. Jinými slovy – čím větší má čočka numerickou aperturu, tím menší má ohniskovou vzdálenost. Znamená to, že čočka v systému Blu-ray s NA 0,85 zaostřuje na mnohem kratší vzdálenost než čočka v optice CD-ROM, jejíž apertura je 0,45. Porovnání numerických apertur pro jednotlivé systémy ukazuje obrázek.



Obrázek 3.9 – Apertura čočky

3.6 Dodatek – princip laseru

Oblast, na kterou je nutné zaostřit snímací paprsek, je tak malá, že běžné světlo použít nelze. Musíme mít velmi tenký svazek, ovšem s dostatečně velkou energií. Těmto požadavkům vyhovuje právě paprsek laseru. Abychom pochopili, čím se laser liší od běžného světla, musíme alespoň zhruba vyložit, jak vlastně světlo vzniká.

Světlo je chápáno jako elektromagnetické vlnění. Toto vlnění vzniká kmitáním elektrických nábojů, zpravidla elektronů v obalech atomů. Ty mohou buďto kmitat spolu s celým atomem – takto vzniká teplotní záření, způsobené tepelným kmitáním atomů v krystalické struktuře pevné látky. „Kmitat“ mohou ovšem i samotné elektrony v obalech atomů. Toto kmitání nastává ve chvíli, kdy elektron mění hodnotu energie. Elektrony totiž v obalu atomu mohou mít jen určité pevně dané hodnoty energie. Pokud energii elektronu nějakým způsobem zvýšíme (např. působením elektrického pole), pak při opačném přechodu na nižší energetickou hladinu se přebytečná energie vyzáří jako elektromagnetické vlnění. Přechod na nižší hladinu probíhá samovolně. To je způsobeno tím, že se atom snaží zbavit veškeré přebytečné, nepotřebné energie.

Běžné světlo vzniká tak, že elektrické náboje kmitají náhodně a samovolně. Přechody na nižší energetické hladiny probíhají neorganizovaně. Pokud bychom našli způsob, jak elektrony „pozdržet“ na vyšší energetické hladině a donutit je přecházet organizovaně, při určitém impulsu, dostali bychom zdroj velmi silného světla, protože by najednou zářilo velké množství atomů společně.

Tento princip se využívá právě u laseru. Označení LASER tvoří počáteční písmena anglického sousloví „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“, neboli česky „zesilování světla pomocí stimulované emise záření“.

Základ laseru tvoří pracovní látka, ve které elektrony setrvávají na vyšších hladinách i několik sekund. Prvním takovým materiálem byl rubín. Později se objevily i lasery plynové – helium-neonový, argonový, atd. Tyto lasery mohou mít takový výkon, že slouží k obrábění a řezání materiálů mechanicky neopracovatelných. Jako aktivní látky méně výkonných laserů se využívají polovodiče. Polovodičové laserové diody jsou součástí většiny přehrávačů CD, DVD, laserových ukazovátek, apod.

Jak tedy laser funguje? Elektrony v atomech aktivní látky dodáním energie excitujeme (přesuneme je na vyšší energetické hladiny). Pak vhodným impulsem (např. tak, že některý z elektronů přeci jen přejde na nižší hladinu samovolně) uvolníme všechny elektrony z jejich hladin najednou. Průletem jednoho fotonu kolem obalu atomu uvolní elektron další foton. Uvnitř pracovní látky vzniká lavinovitý děj – žádný foton se neztratí, ale během své cesty aktivní látkou strhává elektrony a uvolňuje tím další a další fotony. Nakonec pracovní látku opustí malým otvorem velké množství fotonů současně. Získáme koherentní (=„stejně“) záření přesně dané frekvence (=„barvy“ svazku).

V přehrávačích optických datových médií se tento paprsek po dalším zaostření odráží od malých oblastí reflexivní vrstvy a dopadá do senzoru, který dané záblesky interpretuje jako digitální data.

4. LCD, CRT a Plasmové obrazovky

4.1 Principy vnímání obrazu lidským okem

Zde uvádíme společné principy, kterých využívají všechna zobrazovací zařízení (klasická CRT obrazovka, LCD obrazovka, plazmová obrazovka, projektor...), a které jsou spojené s vnímáním tvarů, barev a pohybu v lidském oku.

1) Obraz je složen z bodů.

Víme, že lidské oko dokáže na vzdálenost 25cm rozlišit od sebe body vzdálené 0,072mm. Jak toho využít?

Otázka : Jaké rozlišení digitálního fotoaparátu je potřebné pro tisk fotografií 10×15cm?

Odpověď : Bude-li fotka obsahovat tolik bodů, aby jejich velikost byla menší než 0,07mm, pak budeme obraz vždy vnímat jako hladký a „nekostičkovaný“.

$$15\text{cm} / 0,07\text{mm} = 2143$$

$$10\text{cm} / 0,07\text{mm} = 1428$$

Obrázek v počítači, uložený s rozlišením 2143×1428, můžeme klidně vytisknout jako fotografii 10×15 cm, aniž by ji bylo možné při běžném pohledu rozlišit od fotografie klasické. Fotografie v tomto formátu umožňuje vytvářet fotoaparát s rozlišením čipu $2143 \times 1428 = 3060204$ obrazových bodů (tzv. pixelů), tedy jak se často uvádí „fotoaparát s rozlišením **3,06 Mpx**“.

Vidíme tedy, že 5-6 Mpx kompaktní fotoaparáty mají rozlišení až zbytečně vysoké.

Mnohem větší vliv na kvalitu fotografie má v takovém případě optika fotoaparátu, než rozlišení čipu.

Ukázky obrázků:



Obrázek 4.1 – Lekníný



Obrázek 4.2 – Detail květu

Z porovnaných obrázků je dobře vidět, že obrázek v digitální podobě reprezentuje síť různě barevných čtverců. Jejich počet udává údaj zvaný „rozlišení obrázku“. Lekníný na obr. 1 tvoří síť 800×600 pixelů.

Závěr – Obrázky můžeme vytvořit z mnoha malých bodů, kde každý z nich má přesně danou barvu. Lidské oko je bude z velké vzdálenosti vnímat jako spojené.

2) Libovolná barva jako složení 3 barev základních.

Jakákoli barva se dá vytvořit kombinací různě jasných 3 základních barev – tzv. systém RGB (z angl. red-green-blue, neboli červená-modrá-zelená). Na následujícím obrázku je tmavá plocha osvětlena pomocí tří světel daných barev. Všimněte si, že i bílá barva vzniká složením těchto tří.



Obrázek 4.3 – Systém RGB

Tato vlastnost barev se používá při zobrazení barevného obrazu – každý pixel obrazovky tvoří dílčí tzv. subpixely, každý zobrazující jednu barvu. Jsou-li rozsvícené všechny tři, vnímáme daný pixel jako bílý.

3) Pohyblivý obraz = sada fotografií.

Určitě víte, že lidské oko dokáže rozlišit za jednu sekundu pouze určité množství obrazů. Tyto hodnoty se pohybují v rozmezí 15-25 obrázků. Hrajete-li občas hry náročné na výkon počítače, nastavené na vysoké detaily, může se vám stát, že vnímáte obraz ne plynulý, ale složený z několika jednotlivých „fotek“. To je dáno právě tím, že náročné scény s řadou efektů mohou váš počítač zaměstnat natolik, že dokáže zobrazit méně než přibližně 10 snímků za 1s. (Pro tento počet se užívá zkratka „fps“, vytvořená z angl. slov „frames per second“, tedy „obrázků za sekundu“). Vhodným příkladem mohou být videosekvence, získané pomocí mobilního telefonu. Ten zpravidla snímá obraz rychlostí 10 – 15 fps, při rychlejším pohybu je takový videozáznam velmi „trhaný“.

Tři zmíněné principy využívá každé zobrazovací zařízení. Proto si je znovu shrneme:

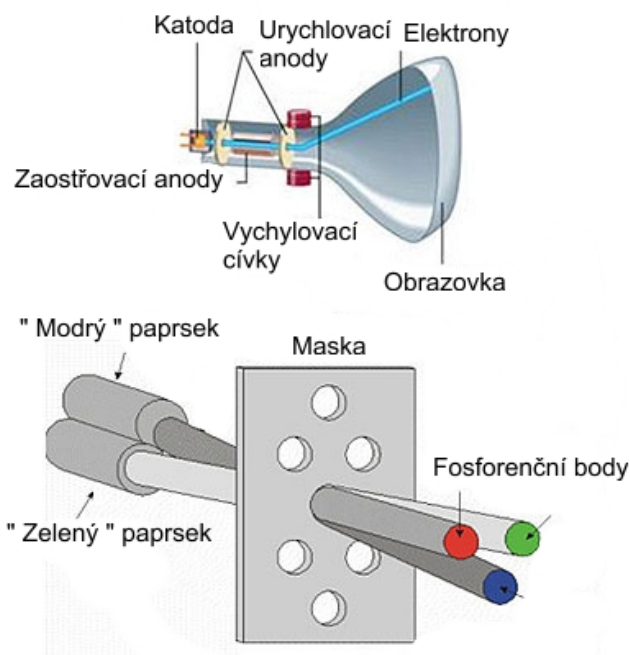
- Hladký obraz je možné nahradit dostatečným množstvím jednotlivých bodů.
- Libovolná barva každého z těchto bodů je dána složením tří různě jasných základních barev.
- Plynulý pohyb obrazu lze nahradit rychlou posloupností fotografií.

4.2 Klasická obrazovka – CRT

Nejstarší typ zobrazovacího zařízení. Typů obrazovek je několik, společné mají to, že musí být alespoň mírně kulaté a zabírají poměrně značný prostor do hloubky.

Obrazovku tvoří pravidelná mozaika vytvořená z komůrek, obsahujících fosfor (každý po dopadu elektronů svítí jinou barvou – červeně, zeleně či modře). Každý bod se rozsvítí při dopadu určitého množství elektronů, uvolněných z katody termoemisi a urychlených elektrickým polem. Tento princip dal obrazovce i název : CRT = Catode Ray Tube (volný překlad - „válec s paprskem elektronů“).

Následující obrázek zachycuje schéma televizní obrazovky.



Obrázek 4.4 – Schéma CRT obrazovky

Z obrázku je patrné, proč musí být tyto obrazovky hluboké – Vzadu je umístěna katoda, uvolňující elektrony, které jsou urychlovány elektrickým polem (přitahují je kladně nabitě anody). Aby mohly dopadat na celou plochu obrazovky, musí být z přímé dráhy vychýleny magnetickým polem, takže obrazovka musí obsahovat navíc vychylovací cívky.

Protože do rohů obrazovky by dopadal paprsek elektronů pod jiným úhlem než v jejím středu, je nutné obrazovky zakřivit. Pokud se vám podaří někde vidět hodně starou obrazovku, bude vám připadat tvarem spíše jako velká žárovka. Starým monitorům se také někdy přezdívá „rybí oko“, pro jejich baculatost.

I když je tento typ obrazovky zdokonalován po desetiletí - obrazovky typu trinitron, díky spec. masce zaoblené pouze horizontálně, či obrazovky typu natural-flat – ploché díky spec. tvaru skla před obrazovkou - přesto se tyto nedostatky nikdy nepodaří zcela odstranit.

Požadavek na nový typ obrazovky byl původně motivován vývojem přenosných počítačů, pro které byly CRT obrazovky naprosto nevhodné. Jsou objemné, mají velkou hmotnost a také spotřebu energie.

Velký rozmach přenosných počítačů umožnily až obrazovky LCD (Z angl. Liquid crystal display), které mají mnohem menší hloubku a spotřebu energie.

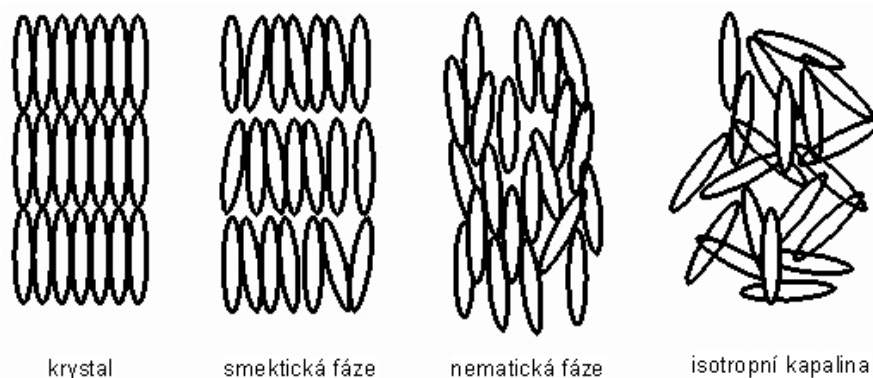
4.3 Displeje z kapalných krystalů (LCD)

4.3.1 Kapalně krystaly

Všichni víte, že voda je za pokojových teplot kapalina. Led má strukturu pevné látky – pravidelnou, jinak řečeno „krystalickou“. Jak by však vypadala látka, která by nebyla ani běžnou vodou, ani ledem ? Měla by vlastnosti částečně převzaté z obou skupenství. Látky tohoto typu vytváří právě strukturu, pro kterou se vžil název „kapalně krystaly“.

Historicky spadá objev do doby před vzdálenými 150 lety. Chemici při experimentech s mielinem (látkou obalující nervová vlákna) zjistili, že pokud ho rozpustí ve vodě, dostanou toto podivné, dříve neznámé uspořádání. Později se podařilo vyrobit další typy tekutých krystalů – například cholesterol - ten vykazuje vlastnosti typické pro kapalně krystaly v rozmezí teplot 146-179 stupňů celsia.

Tekuté krystaly makroskopicky jsou pravidelně uspořádané ve vrstvách, které se ovšem mohou vzájemně pohybovat. Při přechodu mezi pevnou a kapalnou fází látky rozlišujeme několik možných uspořádání.



Obrázek 4.5 – Fázový přechod

Společnou vlastností všech kapalných krystalů je jejich schopnost polarizovat procházející světlo. Podle jejich orientace můžeme ovlivnit, jaké množství polarizovaného světla propustí. A když se později ukázalo, že jejich orientaci můžeme ovlivnit elektrickým polem...vznikl nový způsob, jak vytvářet body různé jasnosti – což stačí pro výrobu černobílé tenké obrazovky.

Pro technické využití bylo ovšem nutné najít takové látky, které vykazují tyto vlastnosti při běžných teplotách, navíc pro větší rozsah teplot (Jinak by bylo nutné udržovat displej na přesně dané teplotě) – proto trvala cesta od prvního objevu krystalů (před 150 lety) k výrobě prvního displeje z tekutých krystalů (před 25 lety) tak dlouho.

V současné době se používá několik různých uspořádání kapalných krystalů. Původní a stále nejrozšířenější konstrukci jsou displeje, v jejichž názvu se objevuje zkratka „TN“. Je odvozena od sousloví „Twisted Nematic“, které vyjadřuje uspořádání krystalů. Několik vzájemně pootočených vrstev kapalných krystalů v nematické fázi stáčí polarizační rovinu procházejícího světla.

Pozn.: Některé LCD displeje mohou vlivem vysoké teploty „zčernat“. Přílišné zahřátí krystalů způsobí ztrátu jejich schopnosti stáčet polarizační rovinu a celý displej přestává propouštět světlo. I když je tento proces vratný, je lepší displej před přehřátím chránit.

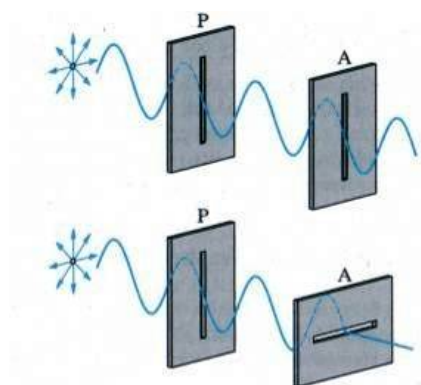
4.3.2 Polarizace světla

Každý jistě někdy slyšel větu, že „světlo je elektromagnetické vlnění“. Kmitající elektrický náboj (např. elektron v obalu atomu) slouží jako elektromagnetický oscilátor. Kolem něho se šíří vlnění podobně, jako například zvuk od kmitající membrány reproduktoru. Rozdíl je v tom, že elektromagnetické vlnění není tlumené a šíří se vakuem. Zatímco mechanické (např. zvuk) se šíří pouze látkovým prostředím a je vždy tlumené.

Pokud říkáme, že se prostředím šíří elektromagnetická vlna, vlastně tím jinými slovy říkáme, že se v prostředí periodicky mění amplituda vektoru elektrické intenzity a magnetické indukce. Oba tyto vektory kmitají vždy ve vzájemně kolmých rovinách (jejichž orientace se ovšem mění). Obě tyto roviny jsou navíc kolmé na směr šíření vlnění.

Jak je možné, že vlnění ve vakuu není tlumené? Příčinou je „elektromagnetická indukce“ – měnící se vektor elektrické intenzity (měnící se elektrické pole) je příčinou změny vektoru magnetické indukce (magnetického pole). Tímto způsobem toto vlnění v každém místě prostoru „samo sebe posiluje“.

Polarizace světla je jev, kdy dochází k pevnému určení roviny, ve které kmitá vektor elektrické intenzity. Od nepolarizovaného světla ho rozeznáme až při použití polarizačního filtru tzv. analyzátoru.

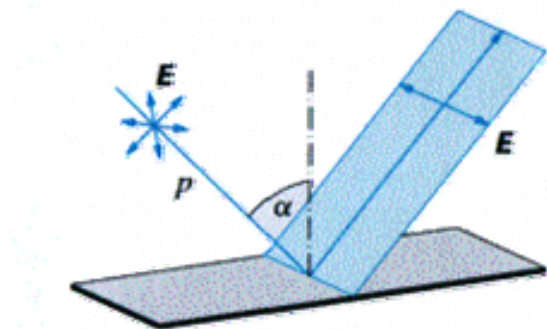


Polarizátor P propouští vlnění pouze v naznačené rovině. Je-li analyzátor A orientován souhlasně, pak světlo prochází.

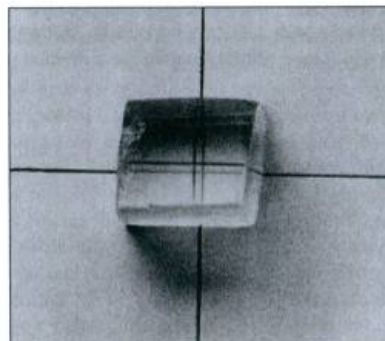
Je-li analyzátor pootočen o 90° , pak světlo neprochází a analyzátor je „černý“.

Obrázek 4.6 – Polarizace světla

Existují i jiné možnosti polarizace světla – např. odrazem. S touto polarizací se můžeme setkat i za běžných podmínek, bez přítomnosti speciálních filtrů – např. při odrazu světla na mokré silnici. To, že je toto světlo částečně polarizované poznáme nejlépe ve chvíli, kdy použijeme spec. ochranné brýle s polarizačními skly. Ta jsou orientována tak, aby odražené světlo odfiltrovala a zlepšila tak naši viditelnost.



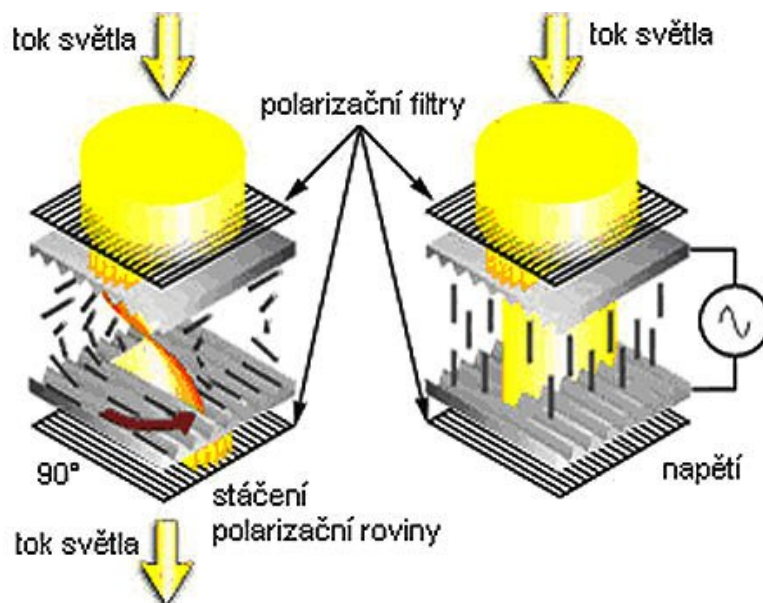
Obrázek 4.7 – Polarizace odrazem



Obrázek 4.8 – Polarizace dvojlomem

4.3.3 Princip LCD

Obrázek zachycuje dva různé pixely LCD displeje. V levé části je pixel který svítí, v pravé pixel černý.



Obrázek 4.9 – Princip LCD

Kapalné krystaly jsou orientované tak, aby v klidovém stavu otáčely polarizační rovinu světla o 90° . Tím umožní jeho průchod skrz oba polarizační filtry, právě proto, že jsou vzájemně pootočené o 90° .

Jsou-li krystaly ovlivněny elektrickým polem, orientují se souhlasným směrem, a polarizační rovina zůstává u procházejícího světla beze změny. Polarizační filtr takto orientované světlo zachytí a daný bod tedy vypadá jako černý, zatímco předtím světlo propouštěl.

4.3.4 Typy LCD displejů

Tabulka 4.a - LCD - dělení podle zdroje světla

Transmisivní displej	Reflexivní displej
Displej s vlastním podsvícením. K podsvícení se používají nejčastěji LED-diody. Na přímém slunečním světle těžko čitelné. (příklad – displeje monochromatických mobilních telefonů).	Místo vlastního podsvícení mají spodní stranu odrážející vnější světlo jako zrcadlo. Jsou dobře viditelné na silném slunečním světle, ovšem ve tmě jsou tmavé (příklad - běžné kalkulačky, či digitální hodinky).

Tabulka 4.b - LCD - dělení podle ovládání krystalů

LCD typu PM – Passive matrix („displej s pasivní maticí“). Elektrody, vytvářející elektrické pole na jednotlivých pixelech, jsou orientovány křížově – zvolená katoda se s příslušnou anodou kříží právě v místě daného pixelu.	LCD typu TFT – Thin Film Transistor.
negativa – pomalá odezva, neostrý obraz pozitiva – snadnější výroba	Elektrické pole každého pixelu ovládá kondenzátor, řízený samostatným tranzistorem. Druhá elektroda pokrývá celou plochu displeje. negativa – velmi náročné na přesnost výroby pozitiva – ostřejší obraz, výrazně rychlejší odezva, bez „duchů“ (díky přesnému řízení el. pole)

4.3.5 Způsoby řízení tekutých krystalů

Tabulka 4.c - Technologie řízení krystalů

	<p>Klasický systém TN (Twisted Nematic). (Pozn. „-“ negativa, „+“ pozitivita)</p> <ul style="list-style-type: none"> - špatně vyrobený pixel svítí - velké zpoždění obrazu (např. vícenásobný obraz ukazatele myši) - malé pozorovací úhly (světlo vychází z pixelu v úzkém svazku) + dobře zvládnutá výroba
	<p>Technologie S-IPS (In Plane Switching, neboli „překlápění v rovině“)</p> <ul style="list-style-type: none"> - nižší jas a kontrast - hrubší rastr (větší velikost pixelů kvůli 2 elektrodám na jedné straně) + ze všech 3 technologií nejvěrnější podání barev
	<p>Technologie MVA (Multi domain vertical alignment, neboli „vícevrstvé vertikální uspořádání“)</p> <ul style="list-style-type: none"> - kvůli komplikovanému tvaru elektrod velmi náročné na výrobu + jemné řízení krystalů přináší řadu výhod : větší jas a kontrast, dobré podání barev, široké pozorovací úhly a krátké doby odezvy

4.3.6 Barevné displeje

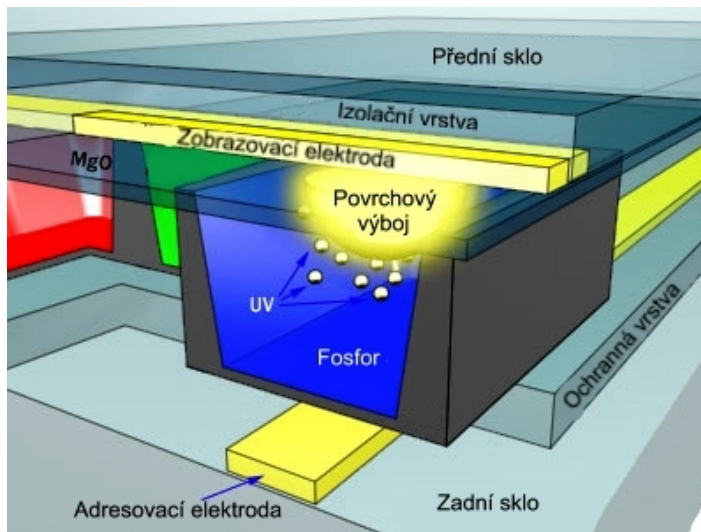
Aby displej mohl zobrazovat barvy, je každý obrazový pixel složený ze tří menších subpixelů. Každý z těchto subpixelů má jinou barvu (podle systému RGB jsou to červená, modrá, zelená). Celková barva pixelu se pak řídí změnou jasu jednotlivých subpixelů.

Barevné rozlišení displeje - V technických informacích LCD monitorů či televizí bývá údaj „zobrazí 16,7 mil. barev“. To znamená, že každý subpixel propouští 256 různých hodnot jasu dané barvy. Celkový počet kombinací je tak $256^3 = 16\,777\,216$ různých hodnot (= různých barev pixelu). Displeje mobilních telefonů mívají hodnoty 4096, 65 000, 262 144 barev, apod. Tyto údaje vlastně znamenají, že každý subpixel dokáže zobrazit jen omezené množství hodnot jasu (16,40,64 apod.).

4.4 Plasmové obrazovky

Od LCD displejů se liší hlavně tím, že nepotřebují vnější zdroj světla. LCD by za tmy bez vlastního poosvětlení nebylo čitelné.

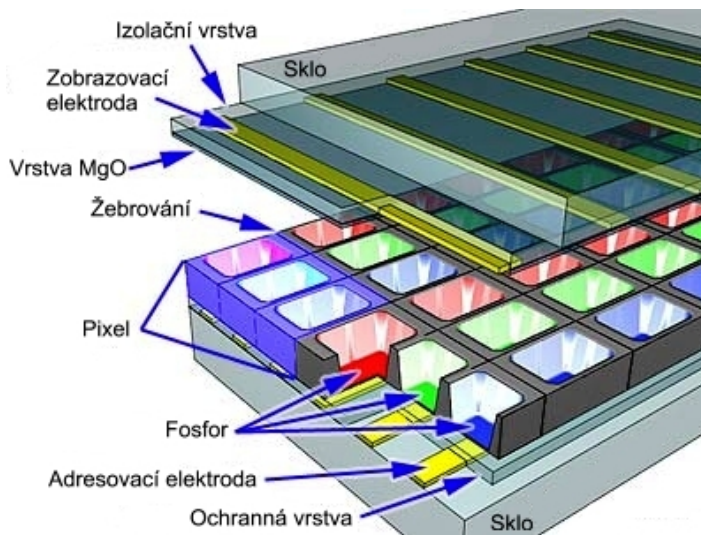
Jak vzniká světlo v subpixelu plasmové obrazovky ukazuje obrázek.



Obrázek 4.10 – Plasmová obrazovka – detail

Adresování pixelů je stejné jako u LCD displejů s pasivní maticí – elektrické pole vzniká na subpixelu, kde se kříží zobrazovací a adresovací elektroda.

V tomto případě ovšem nevyužíváme elektrické napětí mezi elektrodami, ale subpixelem necháme procházet el. proud. Každý subpixel tvoří komůrka s plynným fosforem, který při průchodu el. proudu svítí (podobně jako klasická žárovka). Skládání subpixelů do pixelů ukazuje další obrázek.

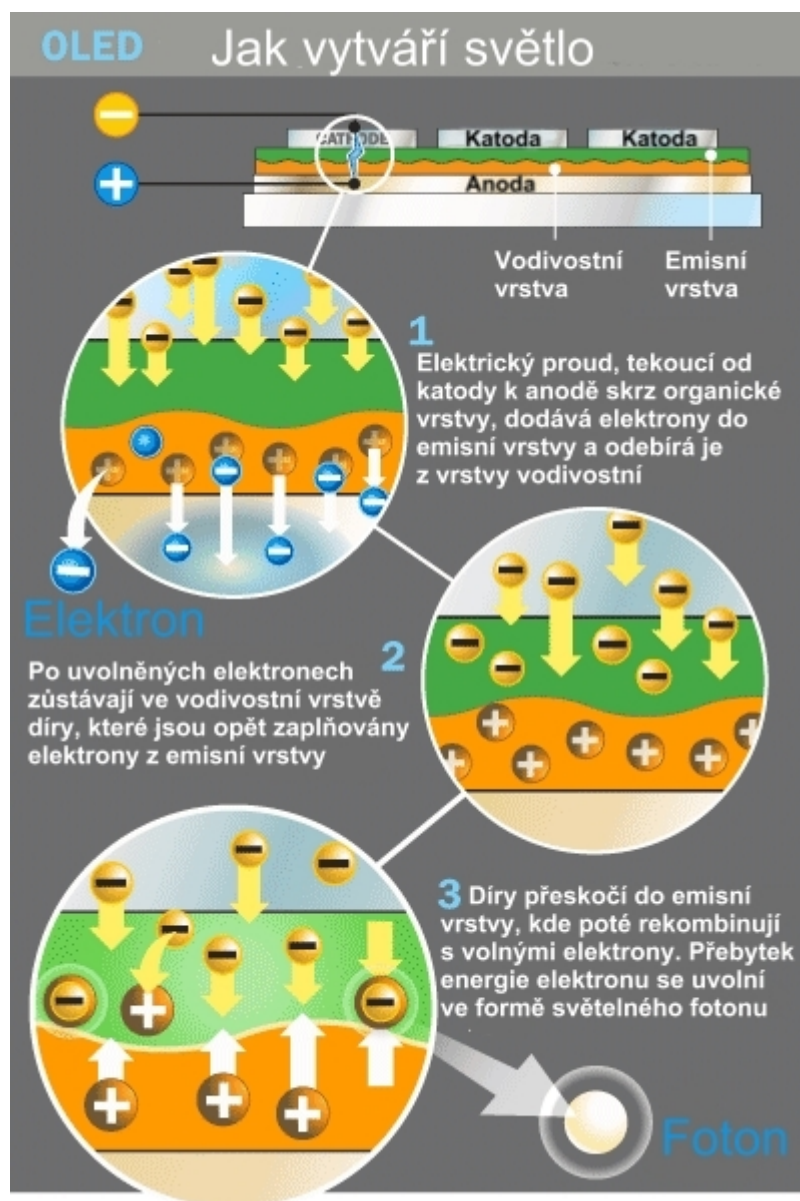


Obrázek 4.11 – Pixely plasmové obrazovky

Nevýhodou starších plasmových obrazovek byl nižší kontrast a problémy se zobrazením tmavých barevných odstínů. Dále mají oproti klasickým obrazovkám nižší životnost, což je s ohledem na jejich stále vysokou cenu také nevýhoda. Nespornou výhodou je vysoký jas, velká úhlopříčka a malá náročnost na prostor (na hloubku mívají zhruba 10-15cm).

4.5 Organické displeje (OLED)

Světlo různých barev vzniká průchodem elektrického proudu skrze zvláštní vrstvy polymerů. Podívejte se na následující obrázek.



Obrázek 4.12 – OLED princip

Výroba OLED displejů – jednotlivé vrstvy polymeru se mohou nanášet podobně jako barva např. stříkáním.

Oproti jiným typům zařízení mají řadu výhod:

- Mohou se vyrábět z ohebných a průhledných materiálů – je možné takový displej nalepit na přední sklo automobilu a zobrazovat na něm navigační údaje či rychloměr. Dají se „našít“ přímo jako součást oblečení (zkuste si představit tričko s animovaným potiskem, či výtisk novin, který po rozbalení zobrazuje stále aktuální zprávy).
- Až bude jejich výroba technicky lépe zvládnutá, mohou se vyrábět snadno a v libovolné velikosti.

Plánuje se využití bílých OLED displejů jako „tapetového osvětlení“.

Problémem ovšem není v současné době jen jejich náročná výroba, ale také poměrně nízká životnost používaných polymerů (modře zářící vydrží asi 5000 hodin).

5. Alternativní zdroje energie

5.1 Úvod – klasické × alternativní zdroje

Prvním prakticky využitelným zdrojem elektrické energie byly galvanické články. Alessandro Volta zkonstruoval tzv. „Voltův sloup“ v druhé polovině osmnáctého století a zahájil tím éru využívání elektrické energie z chemických reakcí. Další dodnes užívanou cestu – elektromagnetickou indukci – objevil roku 1831 Michael Faraday.

Všechny způsoby výroby elektřiny, založené na těchto principech, považujeme za „klasické“. Patří sem:

- a) primární články (galvanické články)
- b) sekundární články (akumulátory)
- c) tepelné, jaderné, větrné, vodní a sluneční elektrárny (výroba elektřiny v generátorech elektromagnetickou indukci)

Z hlediska výroby energie můžeme za alternativní způsoby považovat pouze solární články (fotoelektrický jev) a palivové články (chemické procesy).

Jiné chápání tohoto dělení zdrojů na alternativní a klasické je spojeno s rozdělením na zdroje obnovitelné a neobnovitelné. Mezi klasické (=neobnovitelné) zdroje patří energie z fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn), všechny další způsoby (biomasa, vítr, voda, slunce) jsou považovány za „obnovitelné“. Přesnější by bylo ovšem říkat „prakticky nevyčerpatelné“. I když uran patří mezi neobnovitelné zdroje energie, jeho hlavní výhodou je mnohem větší výtěžnost – tzn. že z malé hmotnosti uranu (5g) umíme uvolnit stejné množství tepelné energie, jako z velkého množství uhlí (1000kg).

Všechny klasické elektrárny pracují z hlediska fyzikálního na stejném principu – vyrábějí elektřinu elektromagnetickou indukci, pomocí generátorů střídavého proudu (alternátorů), připojených k turbínám. Podstatně se ovšem elektrárny liší způsobem, kterým dodávají energii těmto turbínám :

- 1) **Tepelná elektrárna** – Spalováním uhlí, ropy, mazutu, či jiných látek „převařují“ vodu a vyrábí páru. Ta poté pohání parní turbínu.
- 2) **Jaderná elektrárna** – Tepelnou energii získávají štěpením jader uranu ^{235}U . Způsob jeho dalšího využití je shodný jako u tepelných elektráren. Při štěpení uvolněná jádra lehčích prvků mají menší vazebnou energii, než původní jádro uranu – tento přebytek se přemění na teplo.
- 3) **Větrná elektrárna** – Místo turbíny je zde vrtule, poháněná silou větru.
- 4) **Vodní elektrárna** – Vodní turbínu roztáčí proudící voda. Její energie je dána potenciální, tlakovou energií (elektrárny u přehrad), či energií kinetickou (průtokové elektrárny).
- 5) **Sluneční elektrárna** – Vodu v obrovské nádrži zahřívají sluneční paprsky, soustředěné pomocí velkého množství zrcadel. Tímto zahřátím opět vzniká pára pro pohon turbíny.

5.2 Elektrárny

Schémat jednotlivých typů elektráren naleznete např. na adrese <http://www.energyweb.cz>, zde se podíváme trochu podrobněji na jev, který umožňuje v generátorech z měničného magnetického pole vyrábět elektřinu.

Jak vypadá generátor třífázového proudu, používaný v elektrárnách? Uprostřed, na hřídeli rotoru je umístěna cívka s magnetickým jádrem. Kolem této cívky jsou tři statické cívky, posunuté o 120°. Hřídel rotoru je roztáčena turbínou a rotující cívka rotoru vytváří proměnlivé magnetické pole. V cívkách statoru, na které toto magnetické pole působí, se indukují elektrické napětí.

5.2.1 Elektromagnetická indukce

Elektromagnetická indukce bývá v učebnicích popisována vztahem :

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Slovně řečeno – indukované elektrické napětí má velikost, odpovídající záporně vzaté časové změně magnetického indukčního toku. Tento vztah se dá ukázat rozбором obrázků na následující straně :

Velikost síly F_m je dána vztahem :

$$F_m = -e \cdot v \cdot b \cdot \sin(\alpha)$$

Tato síla vytvoří elektrické pole o intenzitě :

$$E = \frac{F_m}{e} = -B \cdot v \cdot \sin(\alpha)$$

Má-li část vodiče délku l , pak tato intenzita vyvolá el. napětí

$$U = -E \cdot l = -B \cdot v \cdot l \cdot \sin(\alpha)$$

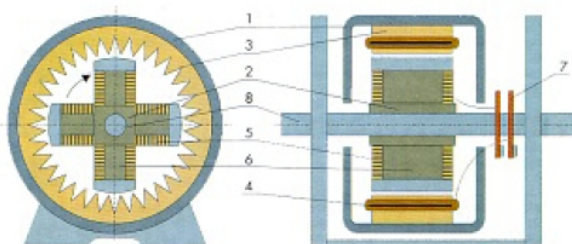
Nahradíme rychlost v , podílem uražené dráhy a času

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Po dosazení do vztahu pro napětí dostaneme hledaný vztah $U = - \frac{B \cdot \Delta s \cdot l \cdot \sin(\alpha)}{\Delta t} = - \frac{B \cdot \Delta S \cdot \sin(\alpha)}{\Delta t}$

V tomto vztahu magnetický indukční tok plochou S odpovídá výrazu v čitateli zlomku, tedy platí $\phi = B \cdot S \cdot \sin(\alpha)$. Ve skutečnosti má vztah, uváděný pro magnetický indukční tok, poněkud odlišný tvar - $\phi = B \cdot S \cdot \cos(\varphi)$. Tato odlišnost je dána tím, že zatímco úhel α leží v rovině, ve které leží celá plocha S , v praxi se plocha nahrazuje vektorem, který je na ni kolmý (Velikost takového na plochu kolmého vektoru se volí rovna obsahu nahrazované plochy. Tomuto vektoru se pak zpravidla říká „náhradní vektor plochy“ a má ve vektorovém počtu veliký význam). Mezi úhly α a φ platí tedy vztah $\alpha - 90^\circ = \varphi$. [Tedy $\sin(\alpha) = \cos(\varphi)$]

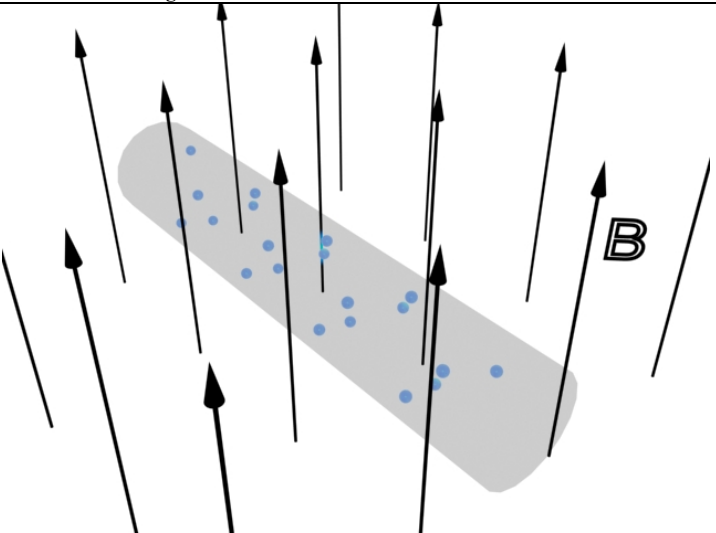
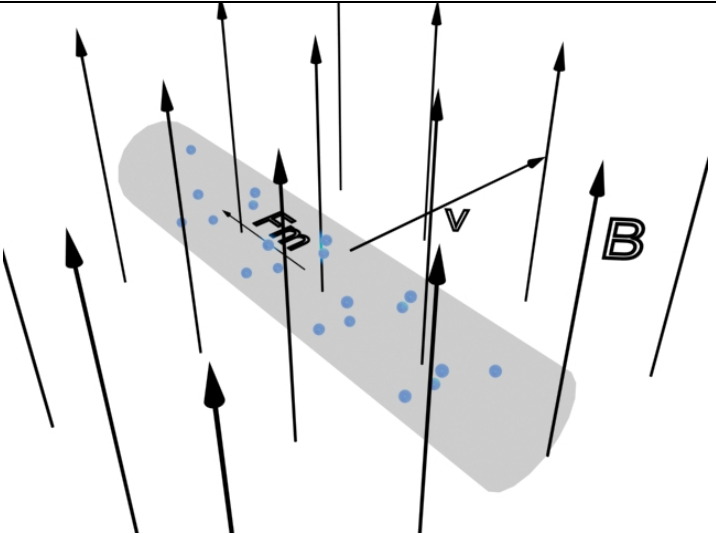
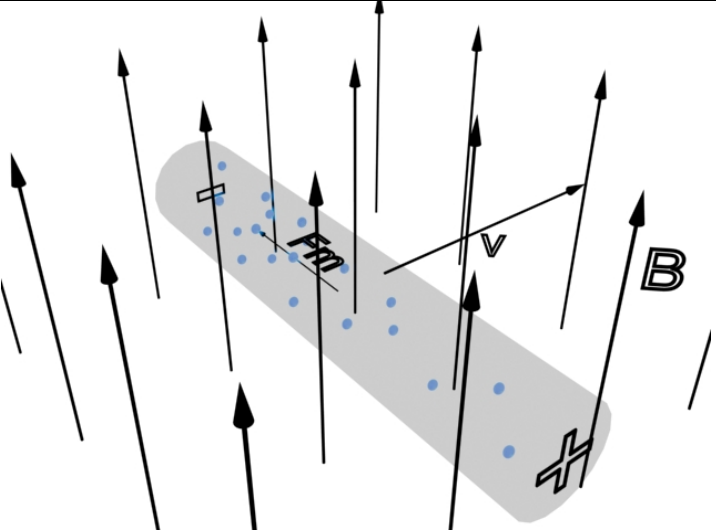
V praxi – napětí vzniká na cívkách statoru. Otáčení rotoru (cívky s feromagnetickými jádry) způsobuje „časovou změnu magnetického indukčního toku“ (= vznik napětí) ve statorových cívkách.



Obr.č.6 Konstruktivní schéma synchronního alternátoru.
1) stator, 2) rotor, 3) magnetický obvod statoru, 4) statorové vinutí, 5) rotorové vinutí, 6) póly, 7) sběrací kroužky, 8) hřídel (zdroj www.energyweb.cz)

Obrázek 5.1 – Synchronní alternátor

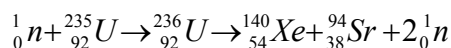
Tabulka 5.a - Elektromagnetická indukce - schéma

	<p>Je-li vodič (např. část jednoho závitu cívky statoru) v klidu, pak volné elektrony nijak na magnetické pole nereagují. Aby začala působit magnetická síla, musí být elektrony v pohybu. Toho dosáhneme tak, že prostě pohneme celým vodičem rychlostí v. (stejně tak lze pohnout či pootočit magnetickým polem).</p>
	<p>Na elektrony, které se vůči magnetickému poli pohybují, začne působit magnetická (Lorentzova) síla. Tato síla je určena předpisem :</p> $\vec{F} = e \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$ <p>kde v je vektor rychlosti, B je vektor magnetické indukce a e je náboj částice, na kterou pole působí. Operace „\times“ značí vektorový součin.</p>
	<p>Elektrony, pohybující se stejným směrem, v uzavřeném obvodu vytvoří elektrický proud, v případě našeho úseku vodiče vytvoří indukované elektrické napětí. Jeho velikost je určena indukcí magnetického pole a rychlostí změny jejího směru vůči směru pohybu vodiče (tedy i původně klidných nábojů, které se pohybují s ním).</p>

Když už víme, jaký princip popisuje vznik elektrické energie v generátoru, podíváme se ještě na princip vzniku tepla, vyrábějícího páru pro jeho pohon. Nejvíce tepla z 1 kg látky získáváme v současnosti při štěpení atomových jader.

5.2.2 Jaderné štěpení

Nejstabilnějším atomovým jádrem je jádro železa - ^{56}Fe . Na jednotlivé nukleony zde připadá největší vazebná energie ze všech prvků periodické tabulky. Slučováním jader lehčích prvků na těžší (až po zmíněné jádro železa) se uvolňuje energie. Stejně uvolňování energie nastává u těžkých prvků naopak při jejich štěpení (jádro se rozpadá na zpravidla dvě menší jádra různých prvků). Slučováním vodíku na helium – tzv. termojadernou fúzi – se dá získat na jedno jádro helia mnohem více energie než rozštěpením jednoho jádra uranu ^{235}U . Zápis jedné z možných štěpných reakcí (rozdílných možností průběhu štěpení uranu je celkem asi 30):



Jádra „štěpných produktů“ a nové neutrony, vzniklé po rozštěpení, odnášejí energii zpravidla ve formě kinetické energie. Tato kinetická energie byla před reakcí „skryta“ ve vazebné energii uranového jádra. Oba vzniklé produkty mají veliký nadbytek neutronů, proto se dále rozpadají, aby vytvořily stabilní prvky s vhodnějším poměrem neutronů a protonů. Tento typ rozpadu se nazývá „ β^- rozpad“ a probíhá tak, že se jeden neutron v jádře změní na dvojici „proton-elektron“ (navíc se uvolňuje další částice, zvaná „anti-neutrino“).

Xenon $^{140}\text{Xe}_{54}$ se pomocí čtyř β^- rozpadů postupně mění na Cer $^{140}\text{Ce}_{58}$ (β^- rozpad probíhá různě rychle – průměrné časy v této „rozpadové řadě“ jsou 14s, 64s, 13dní, 40h). Druhý štěpný produkt, Stroncium $^{94}\text{Sr}_{38}$ se mění pomocí dvou β^- rozpadů na Zirkonium $^{94}\text{Zr}_{40}$. (průměrné časy jednotlivých rozpadů jsou 75s a 19minut). Jak jste si jistě všimli, při každém β^- rozpadu vzniká z původního prvku prvek s protonovým číslem o 1 vyšším. (Prvek se v periodické tabulce posouvá o jedno místo vpravo). Pro vyjádření celkové energie, uvolněné při tomto štěpení, musíme připomenout několik dalších faktů:

- Energie jednotlivých prvků, kterou chceme počítat, souvisí s hmotností těchto prvků podle Einsteinovy rovnice $E=mc^2$. Podle této rovnice – 1 kg libovolné látky odpovídá $9 \cdot 10^{16}$ J energie.
- V tabulkách se hmotnost jednotlivých prvků uvádějí v tzv. „atomových hmotnostních jednotkách“. Základní jednotkou této veličiny je $1u = 1/12$ hmotnosti atomu uhlíku $^{12}\text{C}_6$, což je v běžných jednotkách $1,661 \cdot 10^{-27}$ kg.
- Dále je vhodné zavést jiné jednotky pro samotnou energii. Místo jednotky „1 Joule“ se v případech energií jaderných a chemických reakcí používá zpravidla základní jednotka „1 elektronvolt“ (= energie, kterou získá elektron, urychlený elektrickým polem o napětí 1 volt), značka „1eV“ (Násobné jednotky jsou „keV, MeV, GeV“). Platí převod $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ J.

Z tabulkových hodnot hmotností Uranu, Ceru, Zirkonia a hmotnosti neutronu určíme, že Uran „váží“ oproti zbývajícím prvkům o něco více. Tento úbytek hmotnosti odpovídá (podle výše uvedeného Einsteinova vztahu) celkové energii, uvolněné při reakci.

Tabulka 5.b - Energetická bilance štěpení uranu

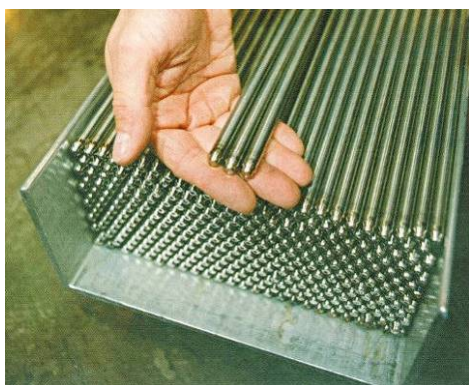
Před štěpením	Po štěpení
Uran ($m_{\text{U}} = 235,0439u$)	Cer ($m_{\text{Ce}} = 139,9054u$); Zirkon ($m_{\text{Zr}} = 93,9063u$); neutron ($m_{\text{n}} = 1,00867u$)
hmotnostní rovnice :	$235,0439u = 139,9054u + 93,9063u + 1,00867u + \mathbf{0,22353u}$
Celková energie, uvolněná při reakci $E = \mathbf{0,22353} \cdot 1,661 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} / 1,602 \cdot 10^{-19} = 208 \text{ MeV}$ ($3,33 \cdot 10^{11} \text{ J}$)	

Většina této energie má podobu kinetické energie štěpných fragmentů, která se předává ostatním atomům v látce a tato rostoucí míra mikroskopického pohybu se navenek projeví zvýšením teploty. Nevyužito je pouze asi 5-6% energie, kterou odnášejí z reakční nádoby unikající anti-neutrína.

Snadným výpočtem můžete ověřit, že pro 1 blok temelínské elektrárny s elektrickým výkonem 1100 MW a účinností asi 30% musí být tepelný výkon, daný štěpením uranu, asi 3 400 MW. Známe-li energii z jednoho štěpení, pak snadno určíme, že každou sekundu musí dojít v reaktoru k rozštěpení asi $1 \cdot 10^{20}$ uranových jader.

Celkovou hmotnost „vyhořelého“ štěpného uranu za 1 sekundu určíme následovně. Jeden mol uranu ($6,022 \cdot 10^{23}$ částic) má hmotnost 235g. Výše vypočtené množství rozpadlých jader tedy musí mít celkovou hmotnost $M = 1 \cdot 10^{20} \cdot (0,235/6,022 \cdot 10^{23}) \text{ kg/s} = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} = 0,140 \text{ kg/hodina} = 3,5 \text{ kg za den}$.

Celková „spotřeba“ hmotnosti uranového paliva je ve srovnání se spotřebou paliva např. uhelné elektrárny mnohem menší - říkáme, že štěpná reakce má oproti klasickému hoření „větší výtěžnost“.



Obrázek 5.2 – Palivové tyče

Z jedné palivové tyče, obsahující 4,8 g Uranu se za dobu její životnosti uvolní energie $1,87 \cdot 10^4 \text{ MJ}$. Stejná energie se uvolní při spálení zhruba 880 kg uhlí ! (údaje převzaty z <http://www.quido.cz/je/je3.html>).

5.3 Elektrochemické články

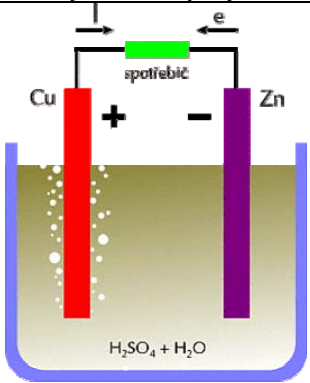
Další možnost, jak získávat elektrickou energii jsou chemické reakce. U galvanických článků dochází na elektrodách z různých materiálů, ponořených do elektrolytu k rozkladu elektrolytické sloučeniny, spojenému se vznikem elektrického napětí.

Články rozlišujeme na primární a sekundární. V primárních dochází k nevratným elektro-chemickým reakcím, které po určité době článek znehodnotí. Sekundární články jsou založené na vratných reakcích – při průchodu proudu opačným směrem probíhají reakce obráceně. Tyto články lze tedy znovu dobíjet. Mnohé akumulátory je nutné nabít i před prvním použitím, protože žádný náboj z výroby neobsahují. Jejich schopnost akumulovat elektrickou energii jim dala i název – akumulátory.

5.3.1 Primární články

Činnost primárních článků je spíše záležitostí chemickou, proto pouze stručně popíšeme procesy, probíhající v nejjednodušším galvanickém článku – Zinko-chloridovém.

Tabulka 5.c - Galvanický článek s kapalným elektrolytem

	<p>Kyselina sírová se rozkládá na vodík H_2 a SO_4. Na zinkové elektrodě vzniká síran zinečnatý $ZnSO_4$, zatímco u měděné elektrody se uvolňuje plyný vodík. Tyto chemické reakce vytvářejí elektrické napětí (proud) následovně :</p> <p>Při vzniku síranu zinečnatého přebývají dva elektrony, které jsou naopak třeba k vytvoření vodíku. Proto putují skrz elektrický obvod z jedné elektrody na druhou.</p>
---	--

Jako elektrolyt lze využít velké množství různých kyselin či zásad. Nejjednodušším primárním článkem je např. citron, jako elektrody slouží pozinkovaný a měděný hřebík. Pro větší plochu elektrod je vhodné použít kousky plechu. Výkon takového článku závisí na celé řadě faktorů, ale máte-li citron dostatečně „kyselý“, může rozsvítit i malou žárovku.

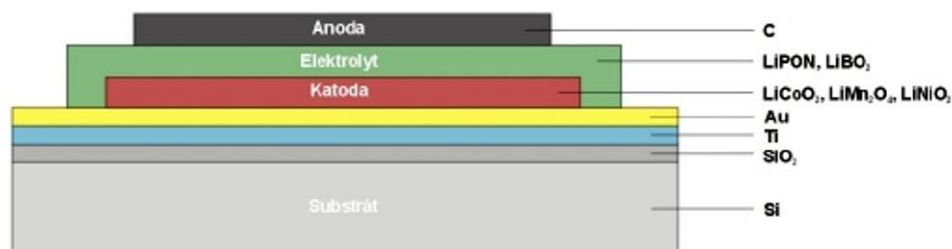
Dnes se převážně používají tzv. „suché články“ – elektrolytem je nasáklá pórovitá hmota, která zabrání jeho vytečení při porušení pláště článku – jsou mnohem bezpečnější. V běžných Zinko-chloridových (Zn-Cl) bateriích se jako kladná elektroda používá uhlíková tyčinka. Zápornou elektrodou je pak zinkový plášť, obalující elektrolyt (burel).

5.3.2 Sekundární články

Nejběžnějším příkladem je klasická automobilová baterie. Obě její elektrody jsou z olova, elektrolytem je kyselina sírová, ředěná destilovanou vodou. Po nabití pokrývá kladnou elektrodu oxid olovnatý. Při vybíjení se probíhá proces obráceně – oxid olovnatý se opět rozkládá. Při nabíjení navíc vzniká plyný vodík H_2 (proto je nutné při nabíjení povolit víčko akumulátoru, aby mohl vodík unikat pryč).

Jiné vlastnosti mají akumulátory ocel-niklové, nikl-kadmiové (Ni-Cd), či niklmetalhydridové (Ni-MH). Jako elektrolyt používají hydroxid draselný s přísadami, kladnou elektrodu tvoří Nikl, složení záporné elektrody je u každého výrobce jiné a je součástí výrobního tajemství. Tyto baterie jsou schopné dodávat dlouhodoběji větší proudy než primární články (např. klasické Zn-Cl). Dají se také nabíjet, počet nabíjecích cyklů dosahuje až 300 (Ni-MH), či 1000 (Ni-Cd).

V mobilních telefonech a dalších zařízeních se používají Li-ion (Lithium-iontové) či Li-pol (lithium-polymerové) akumulátory. Společným znakem je nutnost chránit je proti přílišnému nabití či vybití dodatečně pomocí speciálních obvodů. Překročení napětí totiž články zničí. Tyto články mají vyšší jmenovité napětí oproti předchozím typům (3,6 V oproti 1,2-1,5V), dokáží v poměru k váze skladovat větší množství energie.



Obrázek 5.3 – Schéma Li-iontového článku

5.4 Palivové články

Od klasických baterií se liší v několika ohledech. Předně katoda a anoda nejsou přímo tvořeny aktivní látkou. Ta je k nim postupně přiváděna jako „palivo“. Jako palivo nejčastěji slouží plyný vodík H_2 , může se využít i oxid uhličitý CO_2 , nebo hydrazin N_2H_4 . Z kapalných paliv se používá nejčastěji metanol CH_3OH , nebo složitější alkoholy. Jako palivo mohou sloužit i pevné kovy (mangan, zinek, kadmium). Z paliva se vlivem vysoké teploty či přítomnosti katalyzátorů (platina, paladium) uvolňují atomy vodíku. Separátor má to vlastnost, že směrem ke katodě propustí pouze kladná jádra vodíku, zatímco elektrony musí putovat vnějším obvodem (kde vytvářejí elektrický proud). V kanálcích uvnitř katody poté dochází k oxidaci paliva. Jako oxidant se nejčastěji používá kyslík O_2 , získaný z běžného vzduchu. Dále je možné využít chlor Cl_2 , kapalný oxid rtuťnatý HgO , či pevný oxid manganitý MnO_2 .

Jako elektrolyt se zpravidla používají následující sloučeniny :

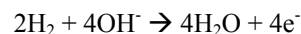
- 1) hydroxid draselný (KOH) 2) tuhý organický polymer 3) kyselina fosforečná (HPO_3)
- 4) směs roztavených uhličitů 5) tuhé oxidy vybraných kovů

Příklad reakcí pro články s elektrolytem KOH :

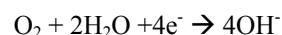
a) štěpení elektrolytu



b) na anodě reaguje přiváděný vodík s hydroxidovou skupinou



c) na katodě reagují kyslík a voda s přicházejícími elektrony

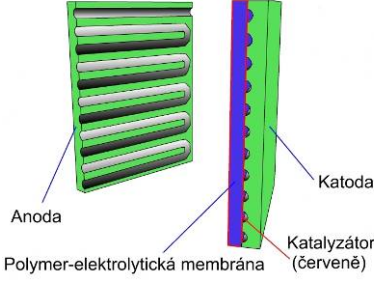
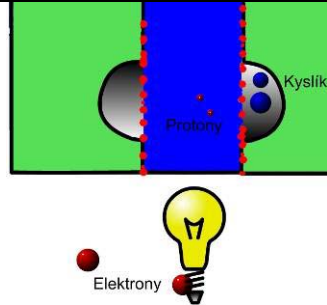
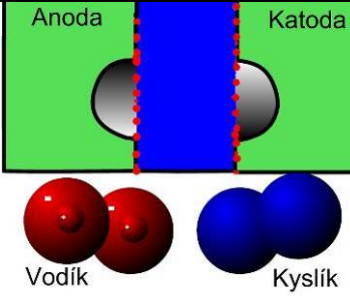
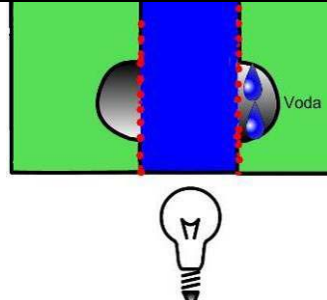


Skupina OH^- z reakce c) se váže na K^+ , prochází elektrolytem a znovu se uplatňuje při reakci na anodě.

Polovina na anodě vznikající vody je jediným přebytkem této reakce, palivové články jsou tedy obecně považovány za ekologicky neškodné.

Následující tabulka ukazuje články s polymerovým separátorem, kde přebytečná voda vzniká naopak na katodě.

Tabulka 5.d - Schéma palivového článku

 <p>Anoda Katoda Polymer-elektrolytická membrána Katalyzátor (červeně)</p>	a) Složení článku	 <p>Kyslík Protony Elektrony</p>	c) Schéma reakce
 <p>Anoda Katoda Vodík Kyslík</p>	b) Aktivní látky	 <p>Voda</p>	d) Odpad po reakci

5.5 Solární panely

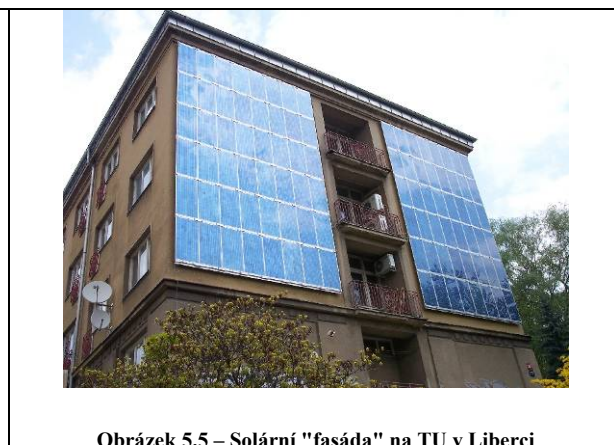
5.5.1 Úvod a aplikace

Solární články mají schopnost vytvářet při dopadu světla elektrické napětí. To je dáno tím, že dopadající světlo předává svou energii elektronům v obalech atomů křemíku. Tyto elektrony pak atom opustí a stanou se z nich volné – vodivostní – elektrony.

Dále je důležité upozornit na rozdíl mezi solárními „fotovoltaickými“ panely a tzv. solárními kolektory. Solární kolektory neslouží k výrobě elektřiny, nýbrž ke slunečnímu ohřevu vody. Mají zpravidla také tmavě modrou či černou barvu, ale uvnitř nejsou krystaly křemíku s elektrodami, nýbrž jen tenké trubičky, kterými proudí zahříváná látka – zpravidla voda.



Obrázek 5.4 – Solární zahradní lampy



Obrázek 5.5 – Solární "fasáda" na TU v Liberci



Obrázek 5.6 – Solární panely na družicích

Obrázky ukazují některé běžné aplikace solárních panelů. Pozn.: Na obrázku „solární omítky“ jsou dva z celkových čtyř instalovaných panelů. Za polojasného dne, kolem jedné hodiny odpolední, kdy byl tento snímek pořízen, byl momentální celkový výkon fasády 1800 W. (Za jasného slunce, kolem 10 hodiny dopolední byl celkový výkon 7500 W). Orientovány jsou k jihu.

5.5.2 Křemíkový polovodič, PN přechod

Křemík ^{14}Si je 14. prvek periodické tabulky, po kyslíku je jedním z nejrozšířenějších prvků na Zemi. Z hlediska elektronového obalu má jeho valenční slupka 4 elektrony, do zaplněného stavu 4 elektrony chybí. Proto atomy křemíku snadno vytváří vazby s okolními atomy a tvoří pevnou strukturu krystalického křemíku. Za určitých podmínek (např. zahřátím) se mohou z těchto vazeb uvolňovat elektrony a daná látka se z izolantu pomalu mění na vodič. Vzniká pár „volný elektron-díra“. Prázdné místo po uvolnění elektronu (díra) se chová jako kladný nosič náboje. Zatímco u běžných kovů elektrický odpor s vyšší teplotou roste, u křemíku je tomu naopak.

Vodivost čistého křemíku se ovlivňuje podle našich požadavků přidáváním příměsí. Přidáme-li například malé množství fosforu, (případně jiného prvku s pěti elektrony ve valenční slupce – tedy prvek 5. sloupce Mendělejevovy tabulky prvků) budou se v krystalové struktuře atomy fosforu vázat na okolní atomy křemíku, ale 1 elektron v jejich valenční vrstvě se vazby nezúčastní. Tento elektron je velmi slabě vázán a proto se uvolní snadno i za běžných teplot. Výsledkem je polovodič, ve kterém převažuje elektronová vodivost, protože je zde víc volných elektronů než vodivostních děr. Takovýto polovodič nazýváme **Polovodič typu N** (negativní). Polovodič s příměsí boru, (či jiného prvku 3. sloupce MTP, kterému naopak jeden valenční elektron do úplných vazeb chybí) vytváří tzv. **Polovodič typu P**. V tomto typu polovodiče převládá děrová vodivost nad elektronovou.

Zajímavý jev vzniká na rozhraní 2 takovýchto různých polovodičů – tzv. **PN přechod**. Na rozhraní difundují (česky - pronikají) elektrony do části P a díry do části N. Na rozhraní v části P tedy zůstávají vázané záporné ionty (díry přešly do části N). V hraniční vrstvě polovodiče N naopak zůstávají kladné ionty (bez elektronů, které přešly do části P). Na rozhraní vzniká tzv. hradlové napětí, intenzita **E** vytvořeného elektrického pole směřuje z části N do části P.

PN přechod je základem polovodičové diody. Právě díky existenci hradlového napětí dokáže dioda propouštět elektrický proud pouze jedním směrem, proto je základním prvkem např. stejnosměrných usměrňovačů elektrického proudu. Podobný PN přechod tvoří i základ solárního článku.

5.5.3 Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev rozlišujeme na vnější a vnitřní. Za vysvětlení vnějšího fotoelektrického jevu získal Nobelovu cenu Albert Einstein (v roce 1921).

Vnější fotoelektrický jev - nastává u kovů (např. cesium) a spočívá v tom, že při dopadu fotonu s dostatečnou energií E opustí elektron povrch kovu s určitou kinetickou energií E_k . Pro každý kov je změřena hodnota tzv. výstupní práce A , která odpovídá energii, potřebné k uvolnění elektronu. Platí vztah mezi frekvencí dopadajícího záření a kinetickou energií uvolněného elektronu :

$$h \cdot f = A + \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$$

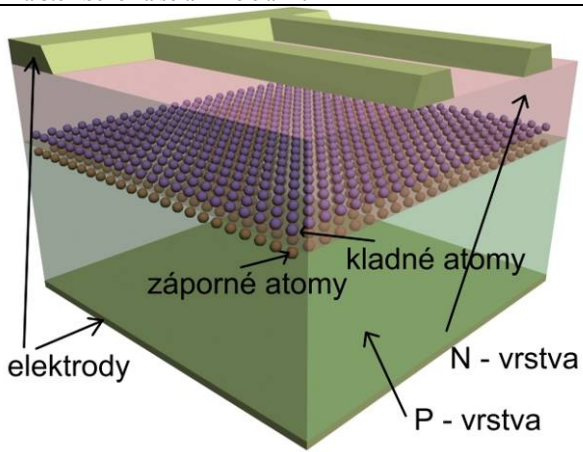
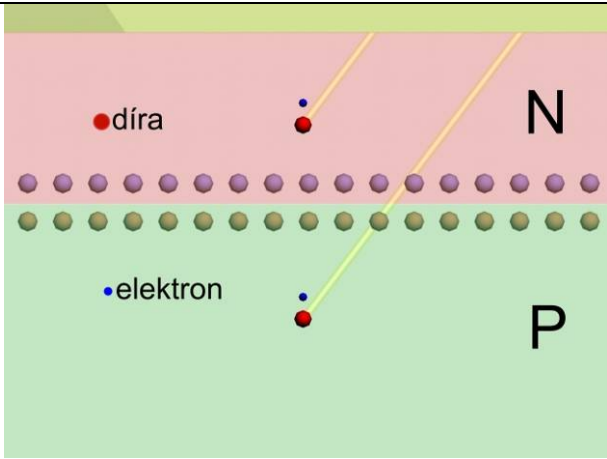
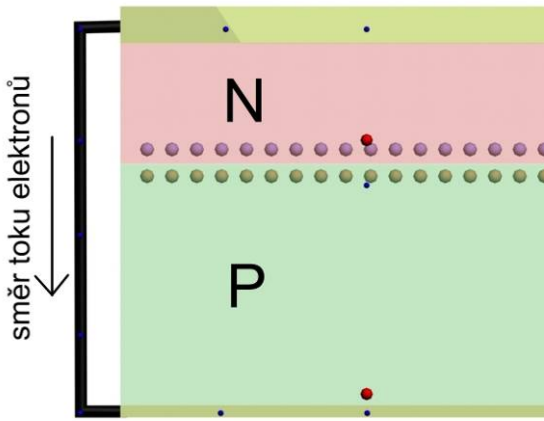
Vysvětlení : Energie fotonu $h \cdot f$ (kde h je tzv. Planckova konstanta, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s) je při nárazu předána elektronu v podobě výstupní práce A , která způsobí jeho uvolnění z povrchu daného materiálu. Byla-li energie fotonu větší, zbytek se změní na kinetickou energii elektronu, $\frac{1}{2} m_e \cdot v^2$.

Vnitřní fotoelektrický jev – elektrony neopouštějí povrch materiálu, zůstávají uvnitř a slouží jako volné nosiče záporného náboje. Tento jev je pozorován u polovodičů. uplatňuje se nejen v solárních článcích, ale i u fotorezistorů a fotodiod.

Solární článek je realizován spojením polovodiče typu P a typu N již výše zmíněným PN přechodem. Uvnitř těchto polovodičů vlivem vnitřního fotoelektrického jevu dochází k vytváření párů „elektron – díra“. Elektrony jsou poté přitahovány do vrstvy P, ale v přímé cestě z vrstvy N jim brání hradlové napětí na PN přechodu. Proto do části P putují vnějším elektrickým obvodem (pro díry platí cesta opačným směrem).

Tato tabulka popisuje znovu princip solárního článku.

Tabulka 5.e - Schéma solárního článku

	<p>Na řezu solárním článkem vidíme, co se stane v místě spojení polovodičů typu N a P. Část elektronů z vrstvy N se přesune do chybějících děr ve vrstvě P a naopak. Na rozhraní vzniká tenká vrstva, zvaná PN přechod. Vzniká elektrické pole mezi vrstvičkou kladných atomů v části N a záporných v části P.</p>
	<p>Pronikají-li článkem fotony světla, po srážce s atomem vytvářejí páry elektron-díra tak, jak znázorňuje obrázek. Uvolněné elektrony jsou přitahovány pozitivní „P“ částí článku, avšak v přímé cestě jim brání hradlové napětí, mířící opačným směrem. Opačně toto platí pro díry.</p>
	<p>Protože elektrony nemohou překonat hradlové napětí, musí do části P putovat jinudy – např. vnějším elektrickým obvodem. Tekoucí proud už může konat práci. Článek slouží jako zdroj elektrické energie.</p>

Pozn : V části „měření“ jsou návody na měření výkonu solárního článku, na stanovení jeho přibližné účinnosti a na kalibraci solárního článku na jednoduchý luxmetr. Další měření, které se váže k této kapitole je porovnávání vnitřního odporu různých druhů baterií.

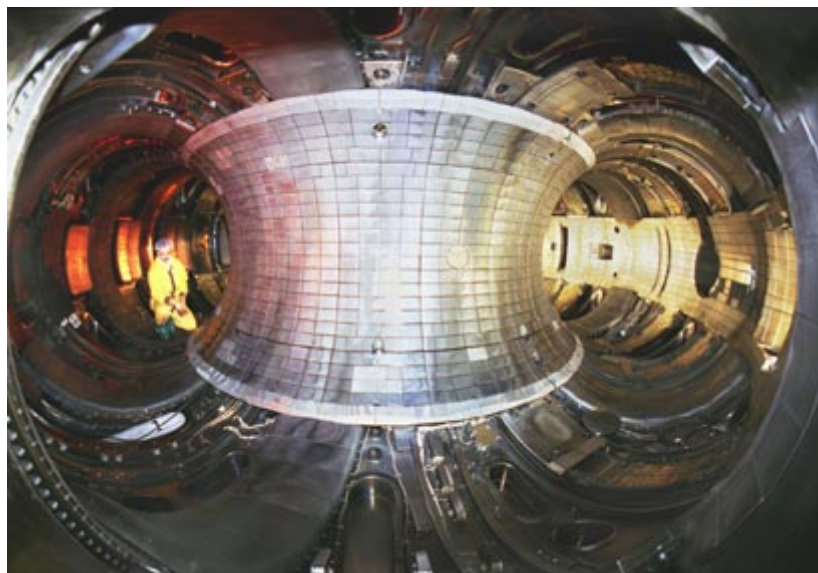
5.6 Budoucnost jednotlivých zdrojů energie

K získávání tepla v elektrárnách se připravuje jiný proces než štěpení uranu. Jeho podstatou je termojaderná fúze – slučování vodíku na helium. Tento cyklus probíhá v nitru hvězd a je největším stálým zdrojem energie v celém vesmíru.

Oproti štěpení, které z celé hmotnosti materiálu uvolňuje energeticky asi 0,5%, má tento proces účinnost asi 10%. Na stejné množství uvolněné energie spotřebujeme tak pouze 1/20 hmotnosti vodíku.

V současné době existují experimentální reaktory na jadernou fúzi, potýkají se ovšem s problémy jak udržet dlouhodobě vodíkové plasma obrovské teploty stabilní. Každý pozemský materiál by se při tak obrovských teplotách (více než 10 000 K) roztavil.

Nadějně vypadá reaktor prstencový, udržující plasma v odpovídajícím tvaru pomocí silného magnetického pole. Vnitřek takového reaktoru ukazuje následující obrázek.



Obrázek 5.7 – TOKAMAK

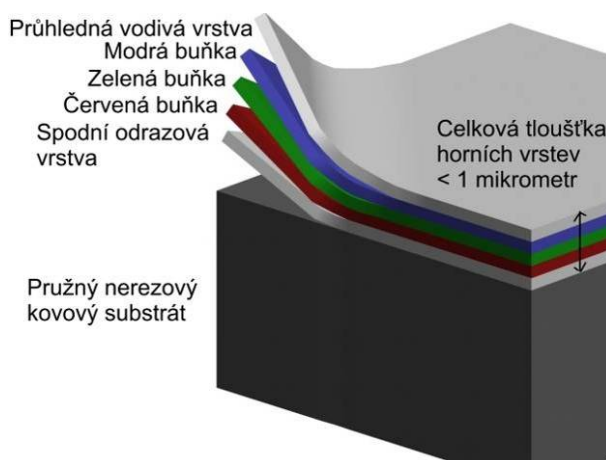
Ovládat vlastní virtuální reaktor můžete zkusit na této adrese : <http://w3.pppl.gov/~dstotler/SSFD/>

Další technologií vyžadující stálé vylepšování jsou **solární články**, využívající fotoelektrický jev. Protože elektrony k uvolnění z atomových obalů potřebují dostat poměrně přesně určenou dávku energie, z celého světelného spektra využívají pouze fotony odpovídajících vlnových délek. Zatímco za slunečního dne dopadá na 1 m² ze slunce kolem 700-800W zářivé energie, na elektřinu dokážeme v současné době přeměnit maximálně 10-15%.

Moderní solární články se začínají vyrábět namísto křemíku z polymerů. Jejich hlavní výhodou je ohebnost a tvarovatelnost jako u plastových fólií, nižší hmotnost, snazší údržba, obecně lepší mechanické vlastnosti. Mají také tři různé aktivní vrstvy, z nichž každá reaguje na jinou složku světla. Jejich výroba je jednodušší, jejich účinnost je asi 30%. Zatím není jejich výroba technologicky zaběhnutá, proto jsou dražší než běžné křemíkové.

Křemíkové články jsou také hodně závislé na přímém slunečním světle. Je-li zataženo, jejich účinnost velmi výrazně klesá, protože nejvíce využívají právě ty složky světla, které mraky zadržují.

Jednou z možných cest k vyšší účinnosti a využitelnosti solárních článků jsou plastové články. K fotoelektrickému jevu nedochází v křemíku, ale v organických polymerech. Vyšší účinnost se projeví zejména při zatažené obloze – v takovém případě je až o 30% větší než u článků křemíkových. Složení článku z polymerů ukazuje obrázek.



Obrázek 5.8 – Plastový solární článek

Solární energie sama o sobě, získávaná pouze pomocí solárních článků, ovšem pro nahrazení ostatních zdrojů energie nestačí.

Problém:

Kdybychom dokázali v budoucnu hypoteticky využít 100 procent energie, dopadající na zem ze slunce, jak velkou plochu by musela mít solární elektrárna o výkonu, který by nahradil jeden blok elektrárny v Temelíně ?

Řešení:

Vyjdeme ze skutečnosti, že na 1m^2 povrchu Země dopadá 700-800 W zářivé energie. Pro naši úvahu vezmeme větší hodnotu tedy 800 W. Jeden blok elektrárny v Temelíně dává výkon 1000 MW. Vydělením požadovaného výkonu 1000 000 000 W (tj. 1000 MW) hodnotou výkonu slunečního záření, dostaneme potřebnou plochu solární elektrárny o hodnotě 1250000 m^2 . Tuto plochu si lze představit jako obdélník o rozměrech 1250 krát 1000 metrů tedy 1,25 krát 1 kilometr. V praxi bude muset být plocha takové elektrárny výrazně větší, protože se nikdy nepodaří dosáhnout účinnosti 100 procent. Jelikož solární elektrárna dodává elektřinu jen při osvětlení (ve dne), pak bude muset být její výkon mnohem vyšší (přebytek se bude akumulovat a spotřebovávat v noci), aby celkový denní výkon zůstal stejný jako u klasické elektrárny, která pracuje bez ohledu na denní dobu. Z výše uvedené úvahy vyplývá, že lidstvo nebude moci nikdy svoji spotřebu elektrické energie krýt jen ze solárních elektráren, protože by muselo těmito elektrárnami pokrýt velkou část planety a už by nezbyl prostor např. pro pěstování zemědělských plodin.

Další technologií s velmi slibnou budoucností jsou **palivové články**. Využívaly se původně k zásobování energie v kosmických lodích (jsou lehčí, než běžné baterie), dnes mají své využití v pohonu elektromobilů.

Za „tahouna“ rozvoje palivových článků lze jednoznačně označit automobilový průmysl, který intenzivně hledá vhodný zdroj energie pro elektromobily. Klasické olověné akumulátory jsou pro použití k napájení pohonu automobilů příliš těžké a jejich nabíjení trvá příliš dlouhou dobu. Výhodou palivových článků je nepochybně jejich velmi rychlé „nabití“ spočívající v odstranění produktů reakce a doplnění „paliva“. Během několika minut může být článek připraven k činnosti.

V současné době nastupuje jejich využití v noteboocích i mobilních telefonech.

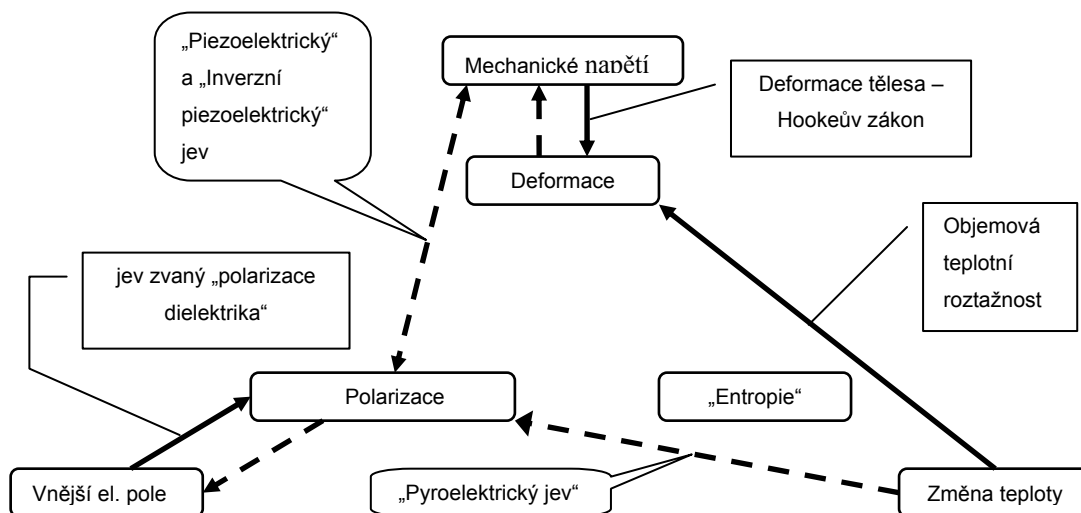


Obrázek 5.9 – Palivový článek v praxi

6. Piezoelektrický a pyroelektrický jev

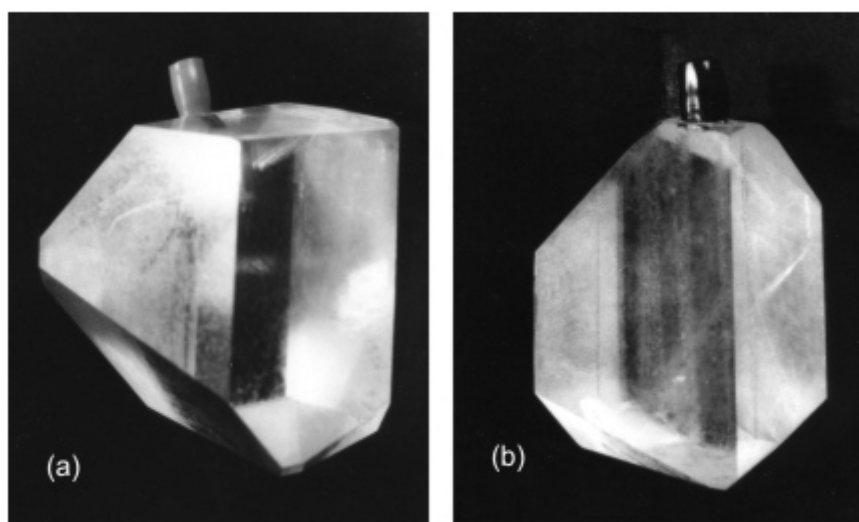
6.1 Úvod a historie

Každý z vás jistě ví, že materiály se tlakem či tahem deformují (mění své rozměry). Dále také určitě víte, že vlivem teploty se u většiny látek zvětšuje jejich objem. Tyto jevy jsou velmi dobře pozorovatelné u velké řady běžně dostupných materiálů a setkáváme se s nimi každý den. Další jev, který už „není vidět“, ale jehož vlivy se dají poměrně snadno měřit, je elektrická polarizace dielektrika. Tyto jednotlivé jevy však nepůsobí izolovaně, nýbrž jsou součástí propojené soustavy jevů, které lze zapsat pomocí následujícího schématu:



Zatímco jevy, vyznačené tučnými šipkami vykazuje celá řada různých, běžných materiálů, piezoelektrické, případně pyroelektrické vlastnosti byly zpočátku pozorovány pouze u některých krystalických materiálů, patřících do příslušných krystalových tříd. (Z celkového počtu 32 možných krystalových tříd je 21 krystalových tříd piezoelektrických a z těchto piezoelektrických tříd je 10 pyroelektrických).

Jak mohou vypadat jednotlivé krystaly piezoelektrických materiálů ukazuje následující obrázek :



Obrázek 6.1 – Krystaly LaDTGS (a), LaTGS (b)

Obrázek ukazuje uměle vypěstované monokrystaly (vyrábějí se krystalizací roztoků za specifických podmínek). LaTGS je zkratka názvu „triglycin sulfát, dopovaný L- α -alaninem“. Tento materiál se stal předmětem našeho zkoumání při určování jeho pyroelektrického koeficientu. Výsledky jsou shrnuté v části „Měření, pokusy, laboratorní cvičení“.

Kromě přírodních krystalických látek s piezoelektrickými vlastnostmi (křemen SiO_2) byly objeveny i materiály jiné. Během druhé světové války, jako součást výzkumů dielektrických vrstev kondenzátorů, byly objeveny druhy keramiky, které vykazovaly piezoelektrické vlastnosti až 100krát silnější než do té doby užívané materiály přírodní. Takovým příkladem je keramika, označovaná zkratkou PZT (Lead Zirconate Titanate – „olovo-zirkonát titanát“). Tato keramika patří mezi tzv. ferroelektrické látky. Tyto látky se vyznačují tím, že v určitém intervalu teplot uvnitř látek dochází ke spontánní polarizaci, jejíž směr můžeme orientovat podle potřeby vnějším elektrickým polem. (Podobně jako můžeme ovlivnit orientaci magnetických domén vnějším magnetickým polem u látek feromagnetických – a vytvořit z nich tak permanentní magnety).

Systém dělení pevných látek podle „elektro-mechanicko-tepelných“ vlastností pak ve své struktuře zahrnuje tyto látky mezi dielektrika. Některá z dielektrik jsou piezoelektrická, jejich podskupinu tvoří látky pyroelektrické a z nich některé řadíme právě mezi výše zmíněné ferroelektrické.

Všechny piezoelektrické, pyroelektrické a ferroelektrické materiály mají toto chování pro teploty do určité hraniční teploty, která se nazývá Currieova teplota, značí se T_C . Nad touto teplotou piezoelektrické, pyroelektrické nebo ferroelektrické vlastnosti mizí. Pro vysvětlení tohoto chování si stačí uvědomit, že piezoelektrické, pyroelektrické nebo ferroelektrické vlastnosti jsou spojeny s konkrétním typem krystalové mřížky daného materiálu. Nad Currieovou teplotou se změní krystalová struktura materiálu a s tím se změní i vlastnosti materiálu. (Podobně jako se mění vlastnosti vody, když se z ledu mění při překročení jisté teploty v kapalinu). V obou případech se jedná o chemicky stejnou látku, ale vlastnosti obou dvou fází se výrazně liší. Jako jiný příklad si lze zvolit materiál uhlík. Tento prvek se vyskytuje ve třech formách - jako amorfni uhlík, tuha nebo diamant. Opět platí, že látka stejného chemického složení má různé vlastnosti – v tomto případě vlastnosti závisí na krystalové struktuře.

Piezoelektrické vlastnosti mohou mít i některé organické polymery, např. PVC (polyvinylchlorid). Tyto polymery se nejčastěji vyrábí ve tvaru tenkých pásků.

Něco málo z historie objevů popisovaných jevů :

Pyroelektřina je známa již z dob starověkého Říma. V Theopractových spisech z roku 314 p.k. je zmínka o zvláštním chování zahřátého Turmalínu (minerál se složitou chemickou stavbou, obsahující křemík, hliník, mangan, železo, sodík...). Tento minerál se při zahřátí chová jako elektricky nabitý. Dnešní pojmenování tohoto jevu pochází z roku 1824, od sira Davida Brewstera. Kolem roku 1880 se tímto jevem zabývali bratři Pierre a Jacques Currieovi. Při jeho studiu objevili další významný jev – **piezoelektrický jev** (Krystal získá elektrický náboj při mechanickém deformování).

Obrácený piezoelektrický jev (deformace krystalu vlivem elektrického napětí) byl nejprve předpovězen z termodynamických zákonů, a následně prokázán dalšími pokusy bratrů Curieových. Složitý matematický popis a nenalezení vhodné technické aplikace odsunulo vývoj v tomto odvětví fyziky do pozadí až do druhé světové války. Rozvoj nastal až s příchodem sonarů. (Ultrazvuk je vyráběn právě pomocí piezoelektrických destiček, na které je přiváděno střídavé napětí vhodných frekvencí).

6.2 Popis piezo- a pyro-elektrických materiálů

Piezoelektrické prvky mají zpravidla tvar hranolu, disku, či prstence. Podle typu krystalové struktury mohou v různých směrech vykazovat různé odezvy na zahřívání či deformování – koeficienty, popisující vztahy mezi vnějším působením a vzniklou intenzitou vnitřního elektrického pole, jsou pro různé směry rozdílné.

To znamená, že např. u prvku ve tvaru hranolu při zahřátí naměříme polarizaci pouze v jednom směru. Např. námi zkoumaný materiál LaTGS má za teploty nižší než T_C nenulový pyroelektrický koeficient ve směru osy y . (Orientace těchto os, stejně jako nanesení elektrod ve směru příslušné osy je vždy součástí dokumentace daného vzorku).

Složitější situace nastává v případě piezoelektrického koeficientu. Zatímco pyroelektrický koeficient se může lišit jen ve třech souřadných osách (může mít tedy max. tři různé hodnoty pro daný prvek), při určení piezoelektrického koeficientu je důležité a) v jakém směru na materiál působíme b) v jakém směru měříme polarizaci.

Mechanické napětí může působit kolmo (tři různé směry), nebo střížně – šikmo k určité ose. Soupis všech piezoelektrických koeficientů, vyjadřujících směry působení mechanického napětí a směr, ve kterém měříme polarizaci, má v obecném případě 27 různých členů. Soupis těchto koeficientů pro daný materiál má podobu matice typu 3×6 . První tři sloupce vyjadřují působení v kolmém směru, další trojice vyjadřují střížná působení.

$$d_{ik} = \begin{vmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} \end{vmatrix}$$

index i určuje směr, ve kterém měříme polarizaci, zatímco indexy k určují směry působení. Krystaly se středovou symetrií mají všechny piezoelektrické koeficienty nulové. U ostatních materiálů jsou některé nenulové, navíc podle typu symetrie mají některé stejné hodnoty. Matice pro krystaly křemene má z těchto 27 koeficientů nenulových pouze pět :

$$d_{ik} = \begin{vmatrix} d_{11} - d_{11} & 0 - d_{14} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} - 2d_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Z této matice například vidíme, že napětí na krystalu naměříme pouze ve směru osy „1“ a „2“ (Nenulový 1. a 2. řádek). Dále je vidět, že když na krystal působíme kolmo ve směru osy „1“ i „2“, dostáváme stejně velkou polarizaci, pouze opačného znaménka (To odpovídá podobě prvních dvou koeficientů v prvním řádku matice).

Tyto koeficienty se pro různé materiály zjišťují experimentálně.

Nyní se podíváme, co je to vlastně ta zmiňovaná měřená „polarizace“. Destička, opatřená elektrodami se za běžných okolností chová jako deskový kondenzátor. Nejčastěji měříme náboj, vznikající na elektrodách vlivem vnějšího tlaku, či při změně teploty. pro náboj na kondenzátoru platí následující vztah:

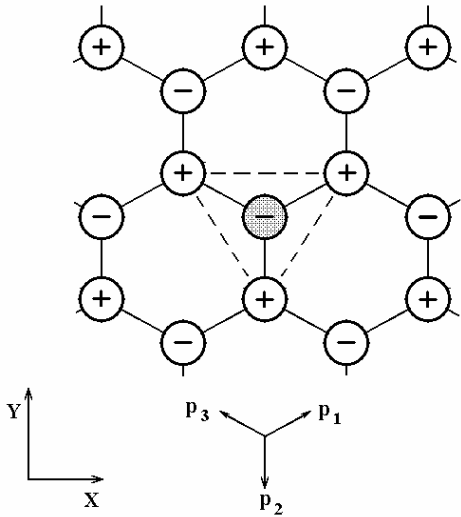
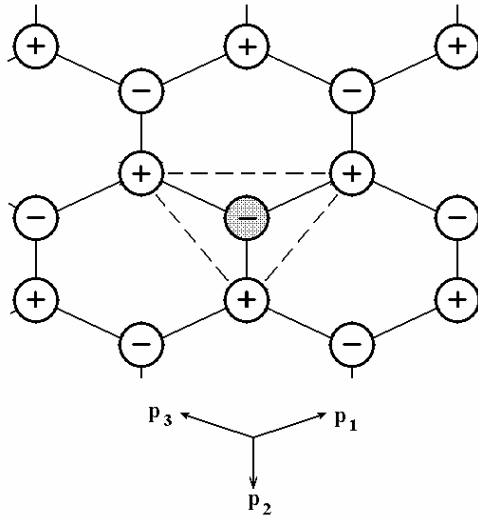
$$Q = C.U ; \text{ kde pro } C \text{ platí : } C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} . \text{ Když si uvědomíme, že navíc platí } U = E.d , \text{ dostaneme}$$

po dosazení za kapacitu a napětí do vztahu pro náboj následující rovnici : $E.\epsilon_0 \epsilon_r = \frac{Q}{S}$. při určování veličiny, zvané „polarizace“ měříme vznikající náboj Q na vzorku o známé ploše elektrod S . Dostaneme tedy hodnotu veličiny „ $E.\epsilon_0 \epsilon_r$ “, která se zpravidla značí P a nazývá se právě „polarizace dielektrika“.

Vztah mezi polarizací a mechanickým napětím vyjadřuje příslušný piezoelektrický koeficient d . Vztah mezi změnou teploty a změnou polarizace vyjadřuje pyroelektrický koeficient p .

Tato polarizace P je vektorová veličina, stejně jako intenzita elektrického pole E , proto je správné je psát jako vektory (tučně). Jak vzniká celková polarizace v materiálu z mikroskopického hlediska ?

Tabulka 6.a - Piezoelektrický jev - atomárně

	
<p>Na obrázku vidíte model atomové struktury „v klidu“. Vektory polarizace uvnitř materiálu odpovídají vektorům elektrické intenzity, které by také mířily od záporného náboje ke kladným. V tomto případě by vektorový součet polarizací vyšel roven nule.</p>	<p>V tomto případě, kdy je materiál „protažen do šířky“ vnějším působením, se změní rozložení atomů. Trojice vektorů polarizace pro zvýrazněný atom po sečtení již nevyjde nulová ($p_3 + p_1 < p_2$) a každý záporný atom bude tímto malým výsledným vektorem přispívat k výslednému vektoru celkové polarizace.</p>

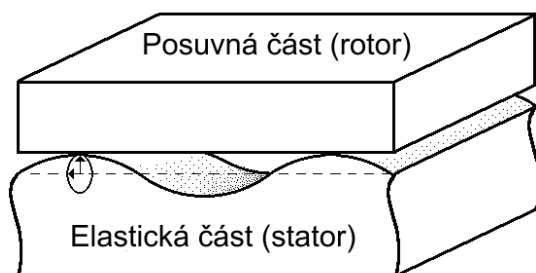
6.3 Aplikace a využití

Pyroelektrický jev je využit v čidlech infračervených pasivních pohybových senzorů. O těchto detektorech je z části pojednáno v kapitole „Detektory pohybu“, dále pak v kapitole Měření pyroelektrického koeficientu, v části „Měření, pokusy, laboratorní cvičení“.

Piezoelektrický jev

- piezoelektrické ultrazvukové vysílače a přijímače – první využití piezoprveků – v sonarech, během války, pro detekci ponorek.

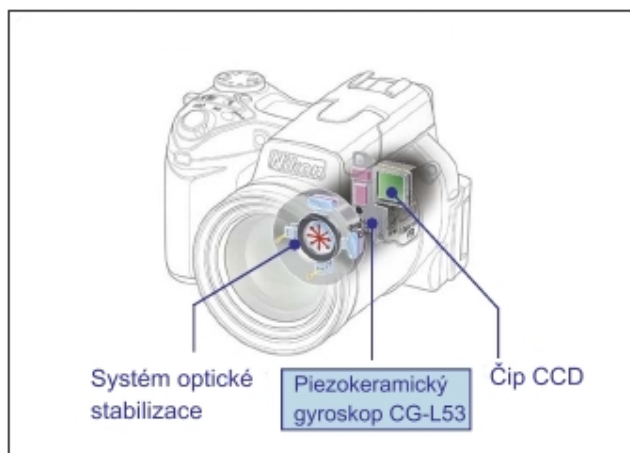
- b) piezoelektrické motory – můžete si představit jako dva prstýnky, ležící na sobě. Jeden je v roli statoru, druhý funguje jako rotor. Přiváděním střídavého napětí na stator se tento deformuje a vznikající postupné vlny díky tření posouvají rotorem.



Obrázek ukazuje jednu z možných různých konstrukcí piezomotorků. Takovéto motorky například zaostřují objektivy moderních fotoaparátů. Navíc se kromě těchto prstencových vyrábějí různé druhy tzv. krokových motorků, u kterých dokážeme velmi přesně regulovat i jejich posunutí.

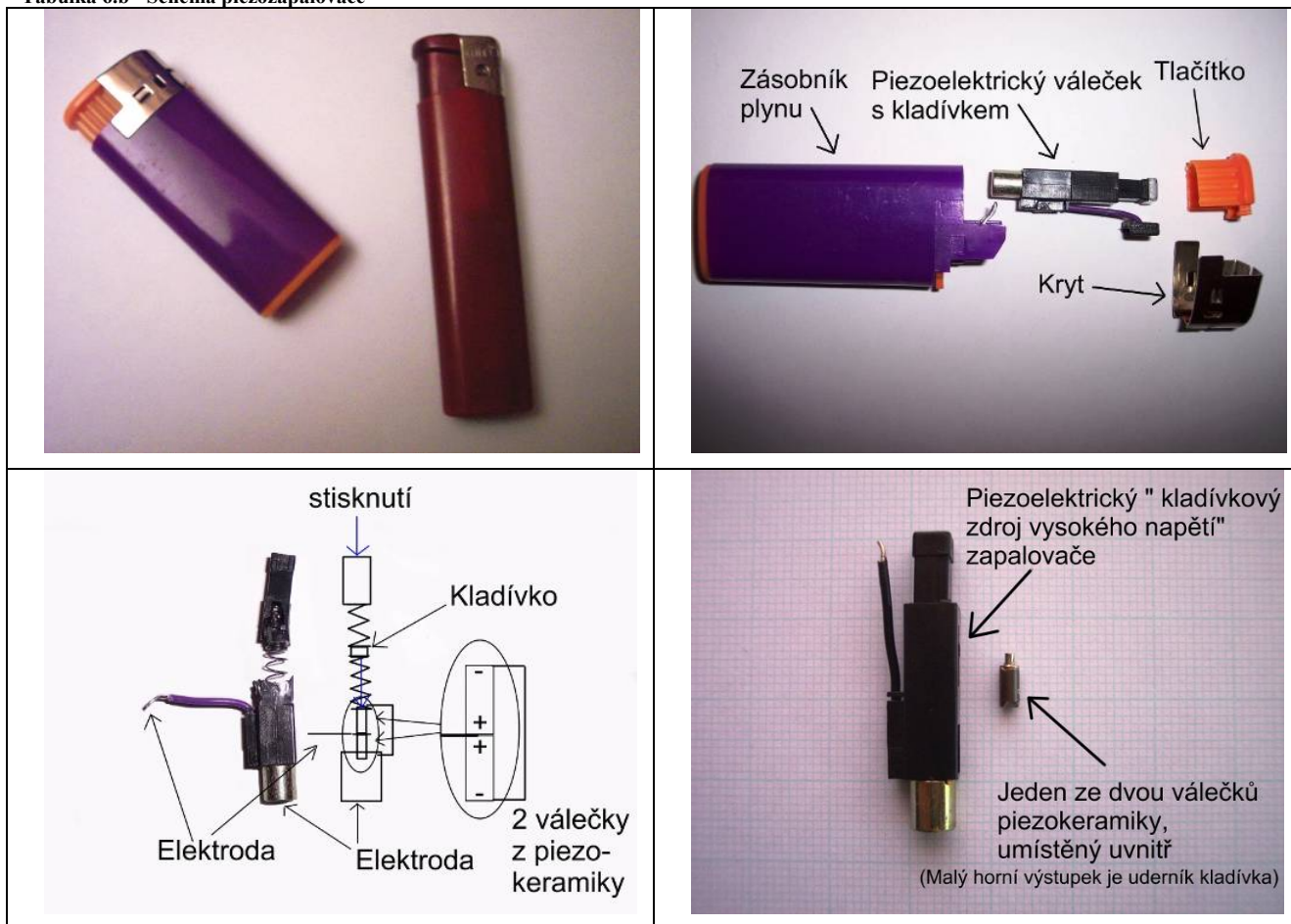
Obrázek 6.2 – Piezoelektrický motor

- c) Stabilizátory frekvence – například v hodinkách typu „quarz“ je umístěn přesně vybroušený krystal křemene, který kmitá na své rezonanční frekvenci (na této frekvenci má nejmenší spotřebu energie – protože ji část opět vyrábí pomocí přímého piezoelektrického jevu). Tato frekvence poté slouží k odměřování času.
- d) Posunovače (aktuátory) – přímým vztahem mezi elektrickým napětím a deformací krystalu můžeme ovládat velmi jemné posuny – využívá se např. pro řízení rastrovacího tunelového mikroskopu – ten sleduje povrch látky tak dokonale, že dokáže zaznamenat i „hrbolky“, způsobené jednotlivými atomy!
- e) Piezoelektrické mikrofony a reproduktory – kromě ultrazvuku umí vyrábět i slyšitelné tóny – velmi intenzivní zvuk, např. v poplašných sirénách.
- f) Zdroje vysokého napětí – např. v noteboocích se používají pro vysoké napětí, potřebné ke správné funkci LCD displeje, místo klasických transformátorů. Mají menší ztráty, transformační poměr může být až 1:1000.
- g) Zdroj elektrického napětí v plynových zapalovačích (vytvoří vysoké napětí, které vyvolá zapalující jiskru – konstrukce je rozebrána v tabulce na následující stránce).
- h) Senzory zrychlení a vychýlení (gyro-senzory) – zde se využívá polarizace válečku při působení „šikmo“ např. vlivem setrvačnosti při zrychlování – tyto válečky jsou základem řízení stabilizátoru obrazu ve fotoaparátech a kamerách, či slouží k aktivaci airbagů v automobilech.



Obrázek 6.3 – Stabilizace obrazu

Tabulka 6.b - Schéma piezozapalovače



Podobné piezozapalovače jsou také součástí plynových kotlů či plynových vaříčů.

7. Závěr výkladové části

Tato poslední kapitola završuje výkladovou část. I když její obsah nebyl zvolen samotnými studenty během ankety, přesto věříme, že jejich špatné umístění v anketě není zapříčiněno jejich nezajímavostí, ale prostě tím že o nich studenti ani nevědí – protože „nejsou vidět“. Piezoprvky jsou tak výborným příkladem fyziky skryté v technologiích kolem nás, která i když sama nás obklopuje nepovšimnuta, její místo v našem světě je nenahraditelné.

Doufáme, že těchto několik drobných fyzikálních rozborů zajímavých každodenních technických prvků z našeho okolí pomůže prohloubit čtenářům jejich pozornost natolik, aby dokázali vnímat nejen ona zařízení, ale i fyzikální principy, které stojí za jejich fungováním. A i když tyto fyzikální jevy mají tak zajímavé a užitečné aplikace, nemusí být nutně jejich popis pro běžného „středoškoláka“ složitý a nepochopitelný. Proto se nám takovéto rozborů zdá užitečné zařadit do běžných hodin a využít je nejen při samotném výkladu jednotlivých jevů, nýbrž i pro zvýšení oblíbenosti fyziky jako školního předmětu celkově.

Část 2. – Měření, pokusy, laboratorní cvičení

1. Měření, pokusy a laboratorní cvičení pro SŠ

1.1 Výkon solárního článku

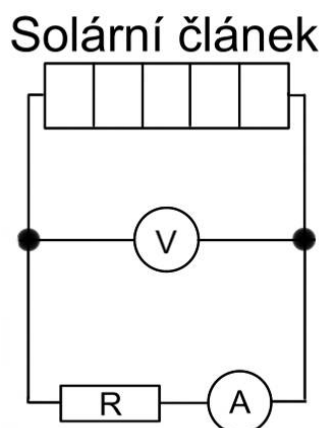
1.1.1 Úvod

Cílem tohoto měření bylo určit výkon solárních článků, používaných v solárních kalkulačkách. Proměřována byla závislost proudu na napětí při měnící se zátěži článku při pevně daném osvětlení. Dále se vypočítá elektrický výkon článku (jako součin napětí a procházejícího elektrického proudu) a určí se tzv. „pracovní bod“. Jeho „souřadnicemi“ jsou takové hodnoty napětí a proudu, pro které vychází výkon maximální.

Pomůcky:

Solární článek z kalkulačky, lampa s regulací intenzity světla, luxmetr, ampérmetr, voltmetr, vodiče, potenciometr či odporová dekáda.

1.1.2 Zapojení



Obrázek 1.1 – Schéma zapojení pro měření výkonu



Obrázek 1.2 – Zapojení - foto

Poznámky :

Následující hodnoty vám pomohou předem připravit přístroje a proměnný odpor v potřebných rozsazích :
Napětí článku dosahovalo maximální hodnoty 2,2 V, pro osvětlení odpovídající běžné místnosti za zamračeného dne (1000 lx). Proud se pohyboval v rozmezí 30-660 μA , maximální hodnoty dosahoval při napětí 0,07V. Zatěžovací odpor se měnil v rozsahu 0,1 – 60 k Ω .

1.1.3 Zpracování

Pro tři různé hodnoty osvětlení jsme proměřili hodnoty napětí a proudu. Tabulky naměřených hodnot jsou uvedeny na další stránce. Dále následují grafy V-A charakteristiky a výkonu článku v závislosti na napětí.

Ukazuje se, že i za běžného osvětlení (bez přímého slunce) dosahuje článek výkonu až 0,4 mW, při napětí 1 V – tato hodnota napětí se ukazuje jako optimální.

Slouží-li jako zdroj energie v kalkulačce, podává při napětí 1,5V výkon 0,28 mW.

Tabulka 1.a - Naměřené hodnoty výkonu pro 1000 lx

Proud	Napětí	Odpor	Výkon
(mA)	(V)	(Ohm)	(mW)
0,685	0,069	101	0,0473
0,666	0,133	200	0,0886
0,642	0,205	319	0,1316
0,610	0,305	500	0,1861
0,577	0,403	698	0,2325
0,545	0,501	919	0,2730
0,508	0,609	1199	0,3094
0,473	0,709	1499	0,3354
0,440	0,800	1818	0,3520
0,404	0,899	2225	0,3632
0,367	0,999	2722	0,3666
0,327	1,110	3394	0,3630
0,293	1,200	4096	0,3516
0,256	1,304	5094	0,3338
0,219	1,404	6411	0,3075
0,185	1,500	8108	0,2775
0,145	1,613	11124	0,2339
0,113	1,710	15133	0,1932
0,082	1,809	22061	0,1483
0,054	1,904	35259	0,1028

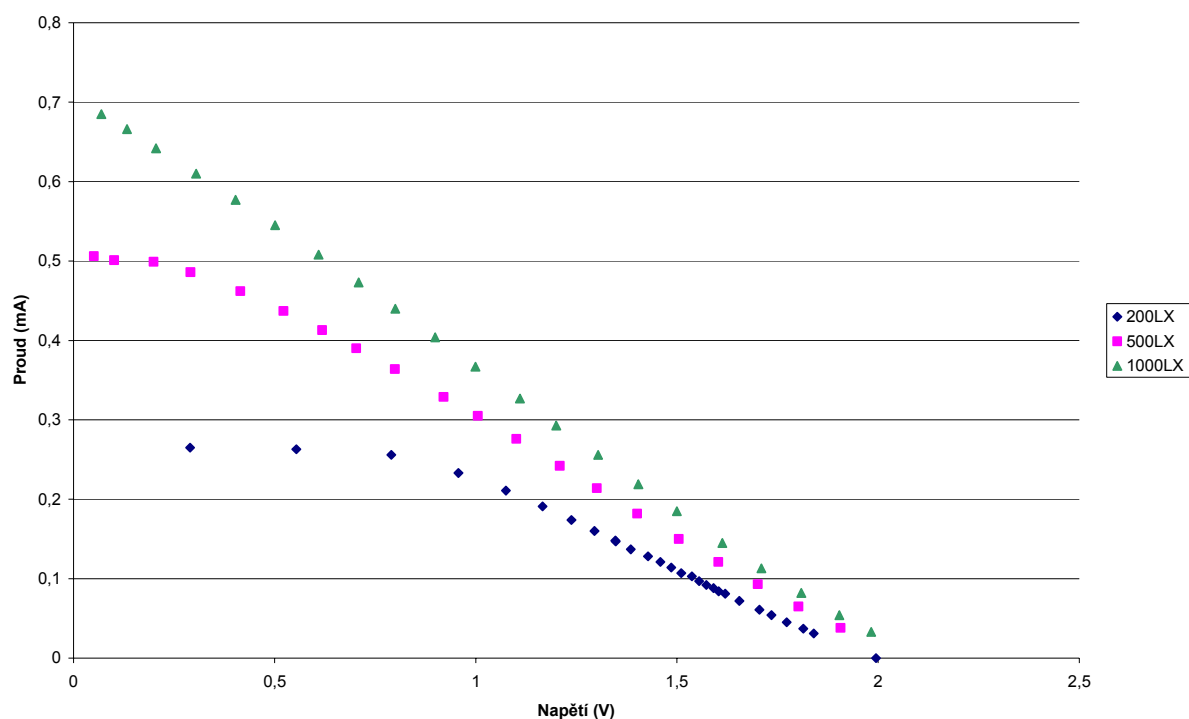
Tabulka 1.b - Naměřené hodnoty výkonu pro 500 lx

Proud	Napětí	Odpor	Výkon
(mA)	(V)	(Ohm)	(mW)
0,506	0,051	101	0,0258
0,501	0,101	202	0,0506
0,499	0,199	399	0,0993
0,486	0,291	599	0,1414
0,462	0,415	898	0,1917
0,437	0,522	1195	0,2281
0,413	0,618	1496	0,2552
0,390	0,703	1803	0,2742
0,364	0,799	2195	0,2908
0,329	0,920	2796	0,3027
0,305	1,005	3295	0,3065
0,276	1,101	3989	0,3039
0,242	1,209	4996	0,2926
0,214	1,301	6079	0,2784
0,182	1,401	7698	0,2550
0,150	1,505	10033	0,2258
0,121	1,603	13248	0,1940
0,093	1,701	18290	0,1582
0,065	1,802	27723	0,1171
0,038	1,907	50184	0,0725

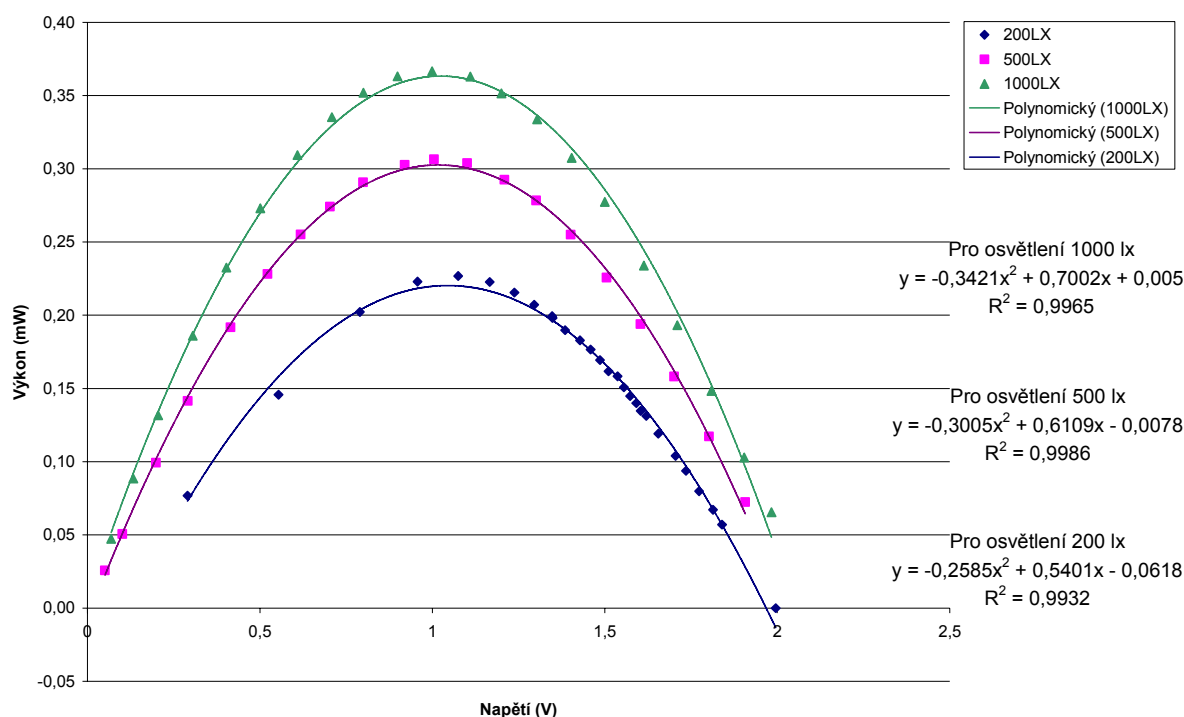
Upozornění na hodnoty chyb :

Osvětlení: ± 10 lx, Napětí: $\pm 0,001$ V, Proud: $\pm 0,001$ mA

Graf Volt-Ampérové charakteristiky pro různé hodnoty osvětlení



Graf výkonu solárního článku v závislosti na napětí



Výkon se mění parabolicky, jak ukazuje předpis analytických křivek, kterými byly dané hodnoty proloženy. Kritérium spolehlivosti R^2 dosahuje ve všech případech hodnoty lepší než 0,99, skutečné hodnoty se tedy od předpovězených (= určených dosazením hodnoty napětí jako proměnné do dané funkce) liší jen nepatrně a danou funkci můžeme považovat za analytický předpis proměřované závislosti. Pozn. ke kritériu spolehlivosti : Koeficient R^2 se mění v intervalu $<0,1>$. Je-li = 1, pak naměřené hodnoty přesně odpovídají těm vypočítaným.

Pracovní bod článku určíme jako polohu maxima příslušné funkce. Hledanou x-ovou souřadnici maxima (hodnotu napětí, pro kterou je výkon maximální), určíme z následující podmínky:

Je-li předpis funkce tvaru $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$, pak maximum určíme z podmínky $x = \frac{-b}{2a}$

(Tuto podmínku znáte jako vzorec pro x souřadnici vrcholu paraboly, vyplývá však z mnohem obecnější podmínky – „Extrém funkce může ležet v místě, kde je 1. derivace dané funkce rovna nule“).

Číselný výpočet pracovního napětí pro osvětlení 1000lx :

$$P = -0,3421 \cdot U^2 + 0,7002 \cdot U + 0,005 \Rightarrow U_{\text{optimální}} = \frac{-0,7002}{2 \cdot -0,3421} = 1,0234V$$

1.1.4 Závěr měření výkonu

Optimální pracovní napětí článku pro maximální výkon při osvětlení 1000 lx je rovno

$$U = (1,023 \pm 0,002) V$$

Problém – Dala by se určit hodnota optimálního napětí z grafu volt-ampérové charakteristiky?

Řešení – Zvolená hodnota napětí a odpovídající proud tvoří strany obdélníka. Optimální napětí je takové, pro které vyjde obsah tohoto obdélníka největší.

1.1.5 Solární panel

Podobně jako článek kalkulačky, proměřovali jsme charakteristiku výkonnějšího laboratorního solárního panelu.

Nepoužívali jsme regulované osvětlení, ale přímé denní světlo. I když je to pouhým okem nepozorovatelné, měnilo se osvětlení v průběhu měření v rozsahu 1800lx až 2500lx. Tyto změny mají za následek velké rozdíly v naměřených hodnotách.

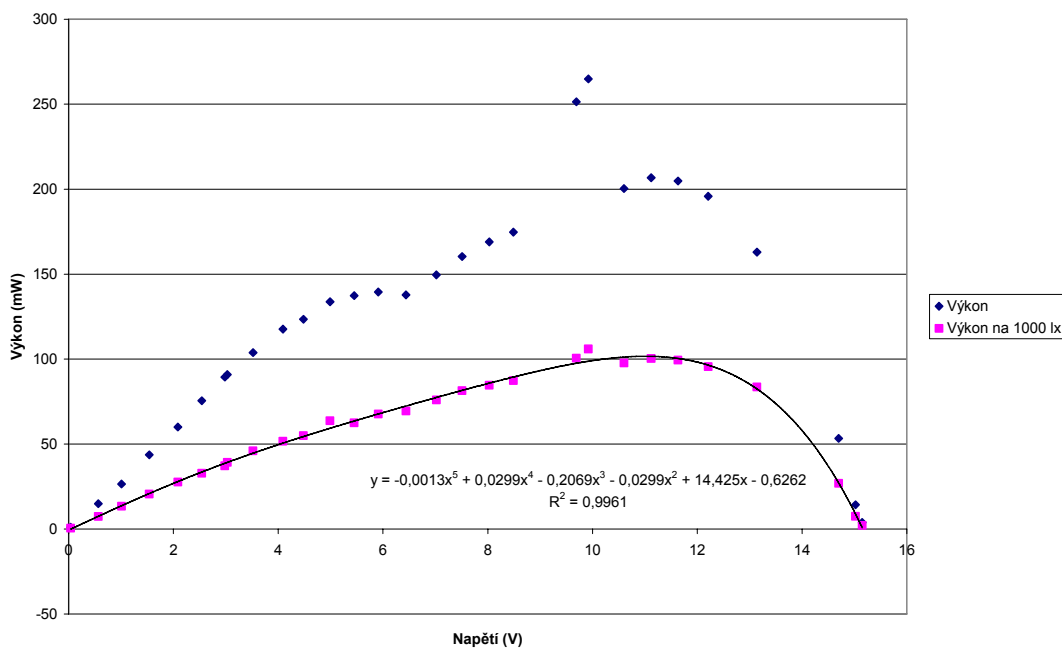
Zapojení obvodu bylo totožné s předchozím měřením. Na následujícím obrázku je ukázán měřený panel.



Obrázek 1.3 – Laboratorní solární panel

Napětí naprázdno dosahovalo hodnoty 15,5 V (změřeno). Největší výkon (100mW) panel vykazoval při napětí $U = 11V$. (Zde není již hodnota určena výpočtem, ale pouze odhadem, z grafu)

Graf výkonu solárního panelu v závislosti na provozním napětí



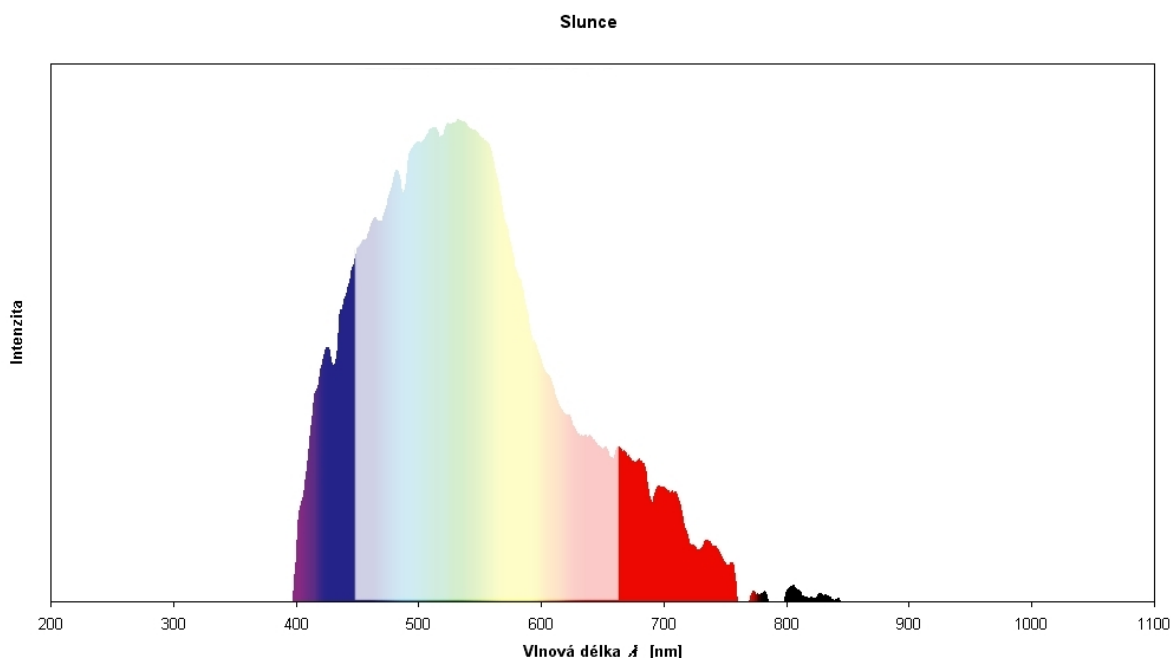
Pro lepší hodnoty jsme přepočítali výkon na 1000lx, předpokládali jsme lineární závislost výkonu na osvětlení. (Skutečně platí ? – podívejte se na graf výkonu malého solárního článku).

1.2 Účinnost solárního článku

1.2.1 Teorie

V křemíkovém polovodiči se při dopadu fotonů určité frekvence (energie) uvolňují díky fotoelektrickému jevu z obalů atomu volné elektrony. Samotný princip fotoelektrického jevu je vyložen ve výkladové části, nyní se soustředíme na to, jak zhruba určíme maximální teoretickou účinnost solárního článku a poté provedeme měření.

Jak již bylo řečeno, 1 foton může uvolnit z atomu křemíku právě jeden elektron, pokud mu dodá potřebné množství energie. Pro křemík je tato hodnota energie v rozsahu 1,4 – 1,85 eV, zatímco ve slunečním světle jsou obsaženy fotony s mnohem větším rozsahem energií : 0,4 – 4 eV (údaje byly převzaty z internetové adresy <http://www.infojet.cz/view.php?cislocclanku=2003092401>) Nižší energie nestačí k uvolnění elektronu, zatímco z vyšší se využije jen příslušná část, zbytek se přemění na teplo. Rozložení zastoupení energie podle jednotlivých vlnových délek uvádí následující obrázek



Obrázek 1.4 – Sluneční spektrum

(Pozn. k obrázku - Světlá oblast vyznačuje část spektra, kterou křemíkové články nevyužívají)

Energie 1,4 eV odpovídá vlnové délce 885 nanometrů, 1,85 eV odpovídá záření vlnové délky 670 nm. Vztahy mezi energií a vlnovou délkou vyplývají z rovnic $E=h \cdot f$ a $f=c/\lambda$.

K uvolnění elektronů se tedy využije z celého spektra jen část fotonů příslušné vlnové délky. Navíc část povrchu solárního článku pokrývá elektroda, proto se nevyužije celá plocha. Celkově se teoretická účinnost solárních článků pohybuje kolem 30%.

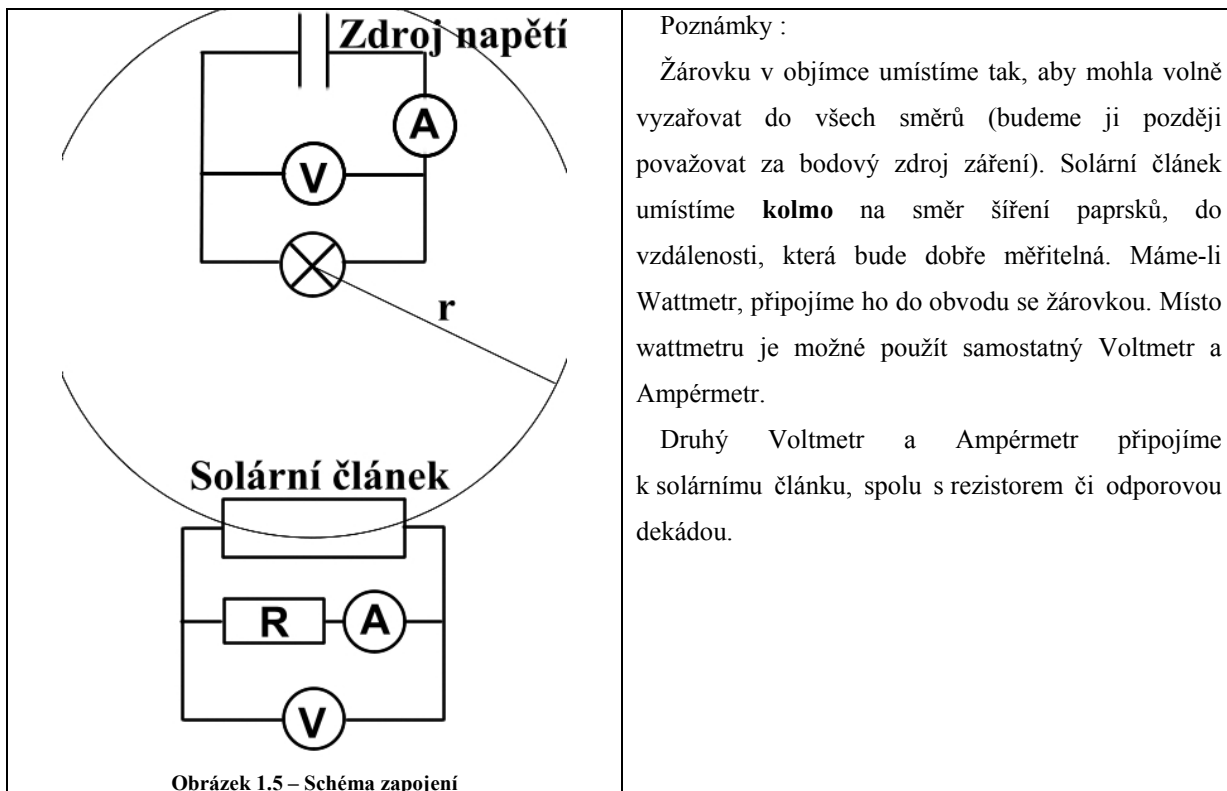
Skutečná účinnost je však mnohem menší :

4-8% u amorfního křemíku, 10-14% u polykrytalického a 13-17% v případě monokrytalů. (Údaje ze stránky http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltai%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek)

1.2.2 Schéma pokusu a zapojení

Jednoduchý, i když velmi přibližný způsob, jak odhadnout účinnost solárního panelu při žárovkovém světle je prostým porovnáním části jejího příkonu, připadající na plochu článku v dané vzdálenosti, a výkonu článku. Takto změřená účinnost nám vlastně říká jaká je účinnost napájení solární kalkulačky při osvětlení místnosti žárovkovým osvětlením. Zahrnuje v sobě účinnost žárovky a solárního článku.

Schéma zapojení ukazuje následující obrázek :



1.2.3 Provedení pokusu

- Nastavíme odpor v obvodu se solárním článkem tak, aby voltmetr ukazoval co nejpřesněji dříve změřenou hodnotu optimálního pracovního napětí (např. 1 V).
- Zapišeme si hodnoty proudu, procházejícího článkem a napětí a proud v obvodu se žárovkou.
- Změříme vzdálenost solárního článku od středu žárovky (Nejkratší vzdálenost k baňce žárovky + polovina jejího průměru) a rozměry solárního článku (pro výpočet plochy)

1.2.4 Zpracování naměřených hodnot

Odhad účinnosti provedeme následujícím výpočtem :

- Součin napětí a proudu v obvodu žárovky vynásobíme a získáme tak příkon žárovky
- Spočteme povrch koule o poloměru r (kde r je vzdálenost solární článek-střed žárovky)
- Spočteme intenzitu záření ve vzdálenosti r . Budeme předpokládat, že se celý příkon žárovky vyzáří do prostoru kolem ní a spočteme výkon, připadající na jednotku plochy dané koule.
- Vypočteme dopadající výkon, příslušný ploše článku ($P_{\text{dopadající}}$)
- Z napětí a proudu v obvodu článku určíme jeho výkon ($P_{\text{článek}}$)
- Určíme účinnost článku μ (= podíl dodávaného a přijímaného výkonu)

Tabulka 1.c - Naměřené hodnoty pro účinnost sol.čl.

Napětí žárovky	220	V	Výkon žárovky (W)
Proud, procházející žárovkou	0,929	A	204,38
Vzdálenost R	0,92	m	Výkon (W) na 1 m ² plochy
Odpovídající plocha ($S=4\pi R^2$)	10,63618	m ²	19,21555252
Napětí článku	1	V	Výkon článku (W)
Proud ve článku	0,000239	A	0,000239
Rozměry článku:			
šířka	0,045	m	Plocha článku (m ²)
výška	0,017	m	0,000765
Celkový výkon, dopadající na článek (W)			
			0,014699898
Účinnost článku (%)			
			1,626

1.2.5 Závěr měření účinnosti

V tomto měření vyšla účinnost článku asi **1,6 %**. Tato účinnost ovšem odpovídá soustavě „žárovka – solární článek“. Domníváme se, že tuto malou účinnost způsobuje hlavně nevhodný zdroj světla – žárovka velkou část výkonu přemění na teplo, které se v solárních člancích nevyužije. Také výkon, dopadající na článek bude jistě o něco menší, než kolik vychází z příkonu žárovky. Domníváme se, že při použití slunečního světla bude tato účinnost větší – kolem 4-8%. I při námi změřené malé účinnosti ovšem dodávaný výkon stačí k zásobování kalkulačky energií.

1.3 Kalibrace solárního článku pro měření osvětlení

1.3.1 Úvod

Zabývali jsme se otázkou, zdali by nebylo možné využít solární článek k určování osvětlení. Získali bychom tím poměrně laciný luxmetr. Jak takovou „kalibraci“ článku na luxmetr provést?

- 1) Pomocí voltmetru měřit přímo napětí „naprázdno“ a jemu přiřadit hodnoty osvětlení
- 2) Udržovat konstantní nenulový proud a opět měřit napětí.
- 3) Udržovat konstantní napětí a sledovat změny proudu se změnou osvětlení.
- 4) Měřit zkratový proud

Jako nejvhodnější se ukázala čtvrtá metoda. K měření zkratového proudu nepotřebujete nic jiného, než solární panel ze staré kalkulačky a jednoduchý ampérmetr. Luxmetr potřebujeme pouze při kalibraci.

Pomůcky:

Potřebujeme solární článek, ampérmetr, luxmetr, regulovatelný zdroj světla (lampičku, připojenou do sítě přes potenciometr), propojovací vodiče.

1.3.2 Pokyny k provedení a zpracování

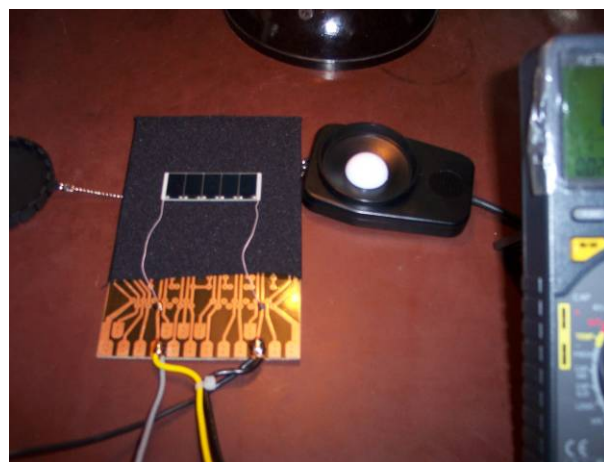
- a) Pod lampičku umístíme co nejblíže k sobě solární článek a čidlo luxmetru. Vývody solárního článku připojíme k ampérmetru (nastavený rozsah 2mA)
- b) Vyzkoušíme rozsah regulace osvětlení. Nám se podařilo dosáhnout osvětlení až 3000 lx, pomocí 60W žárovky a vzdálenosti asi 15 cm od žárovky.
- c) Při měření zapisujeme hodnoty osvětlení a zkratového proudu na solárním článku.
- d) Hodnoty zapíšeme do tabulky a zpracujeme do grafu.
- e) Graf proložíme spojnici trendu a necháme si zobrazit rovnici a interval spolehlivosti
- f) K danému předpisu určíme předpis inverzní funkce – ta bude naší kalibrační funkcí, protože umožní převádět měřený proud na hodnotu odpovídajícího osvětlení.

1.3.3 Zapojení

Odpovídá zapojení článku při měření jeho výkonu a určování pracovního bodu. Tam bylo úkolem luxmetru pomáhat udržovat konstantní osvětlení.



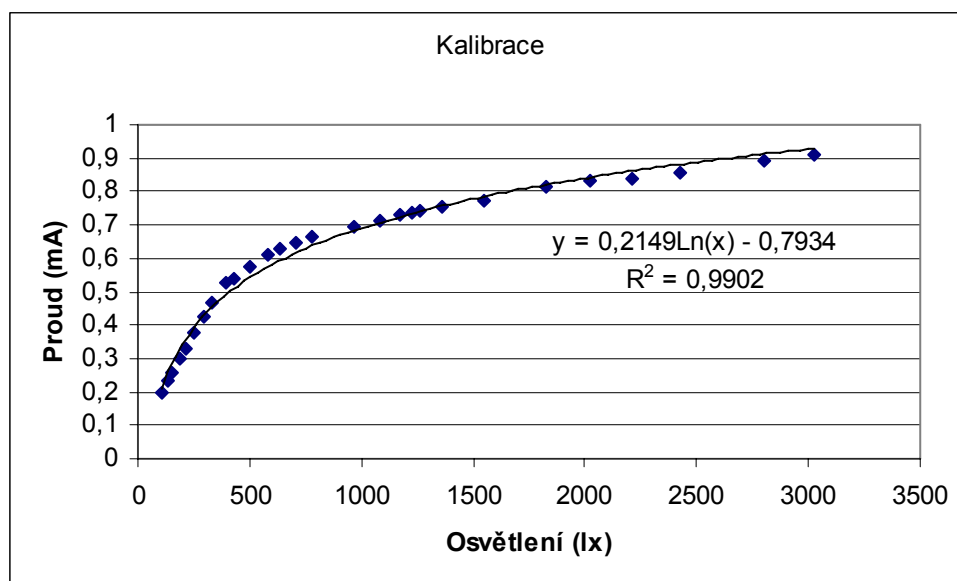
Obrázek 1.6 – Kalibrace solárního panelu



Obrázek 1.7 – Detail panelu a čidla

Pozn.: Panel je vhodné položit na látku, která dobře absorbuje záření (černá barva), aby se zamezilo nežádoucím odrazům záření od podložky panelu.

1.3.4 Příklad zpracování naměřených hodnot



Jak je patrné z grafu, byly měřeny hodnoty proudu pro rozsah osvětlení 100 – 3000 lx. Koeficient spolehlivosti dosahuje hodnoty $R^2 > 0,99$, můžeme tedy danou funkci považovat za dostatečně přesnou. Víme tedy, že zkratový proud lze považovat za hodnoty funkce, závislé na osvětlení :

$$I = 0,2149 \cdot \ln(\phi) - 0,7934,$$

kde I představuje proud v miliampérech a ϕ je hodnota osvětlení v luxech. Předpis inverzní funkce má tvar :

$$\phi = e^{\frac{I+0,7934}{0,2149}},$$

Tato funkce umožňuje po dosazení změřené hodnoty zkratového proudu určit osvětlení.

Chyba měření souvisí s chybou při měření ampérmetrem. Měříme-li proud s přesností na 0,001 mA, pak střední chyba při určení osvětlení je asi 50lx. (Relativní chyba je tedy zhruba 50lx/1500lx, což jsou 4%).

1.3.5 Závěr kalibrace solárního článku

Nepotřebujeme-li znát hodnotu osvětlení zcela přesně, pak místo drahého a mnohdy nedostupného luxmetru můžeme využít snadnou náhradu solárním panelem z běžné kalkulačky a ampérmetrem.

Ověření platnosti vztahu provedeme srovnáním hodnot osvětlení podle vzorce s hodnotami změřenými :

Tabulka 1.d - Kalibrace solárního článku na luxmetr

Naměřený proud (mA)	Vypočtené osvětlení (lx)	Skutečné osvětlení (lx)	Odchylka (lx)
0,2590	134	152,5	- 18,5
0,4272	293	298	- 5
0,6631	878	781	+ 97
0,7526	1331	1361	- 30
0,8388	1989	2210	- 221

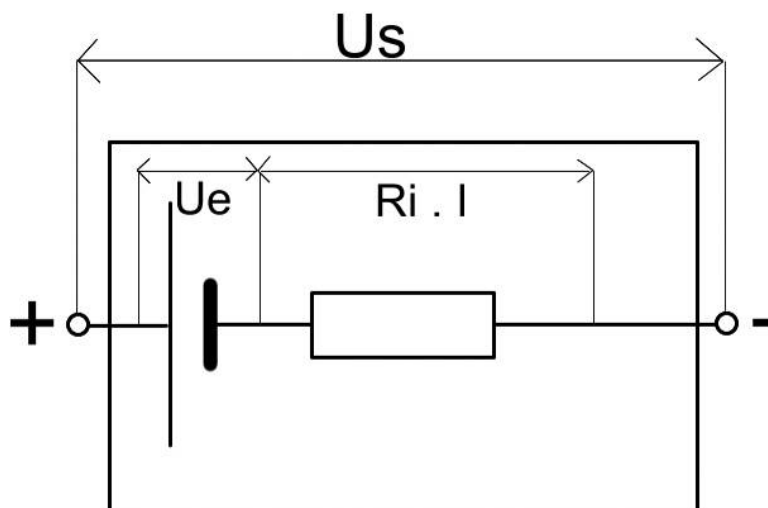
(Odchylky se pohybují kolem 10%).

Pozn. – Pro fotografie by stačilo uvažovat běžné hodnoty min. osvětlení zhruba 500lx. Od této hodnoty dále by bylo možné pro snazší přepočet nahradit logaritmickou funkci funkcí lineární. Spolehlivost R^2 bude ovšem pouze asi 0,95. Od 1000lx dále by vyšlo pro přímku $R^2 = 0,98$.

1.4 Vnitřní odpor baterií

1.4.1 Teorie

Každá baterie má dané elektromotorické napětí. V případě primárních článků je určeno použitým materiálem elektrod a elektrolytem. Ve chvíli, kdy z baterie odebíráme proud, napětí měřené na svorkách klesne. Baterie se tedy chová podobně, jako by ideální zdroj s pevným elektromotorickým napětím byl připojen sériově k rezistoru s odporem R , který při procházejícím proudu I znamená snížení svorkového napětí o $\Delta U = R \cdot I$. Tento vnitřní odpor způsobuje zahřívání baterií při provozu a tak se část energie mění bez užitku na teplo. Proto by měly mít baterie vnitřní odpor co nejmenší, aby byly minimální i tepelné ztráty.



Obrázek 1.8 – Vnitřní odpor

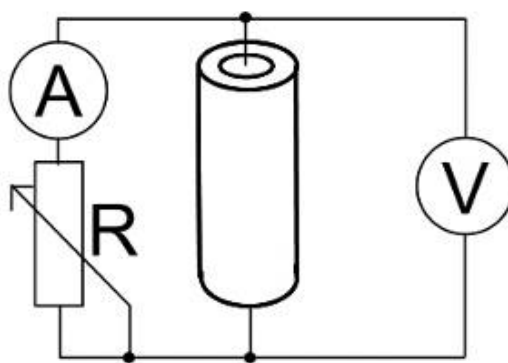
1.4.2 Pomůcky a zapojení

K měření vnitřního odporu potřebujeme:

Několik různých tužkových baterií (běžnou Zn-Cl, Alkalickou, Ni-MH), voltmetr, ampérmetr, proměnný odpor (nejlépe odporovou dekádou). Zapojení proveďte podle následujícího schématu :



Obrázek 1.9 – Zapojení – měření vnitřního odporu



Obrázek 1.10 – Schéma obvodu pro měření vnitřního odporu
(Váleček uprostřed je baterie)

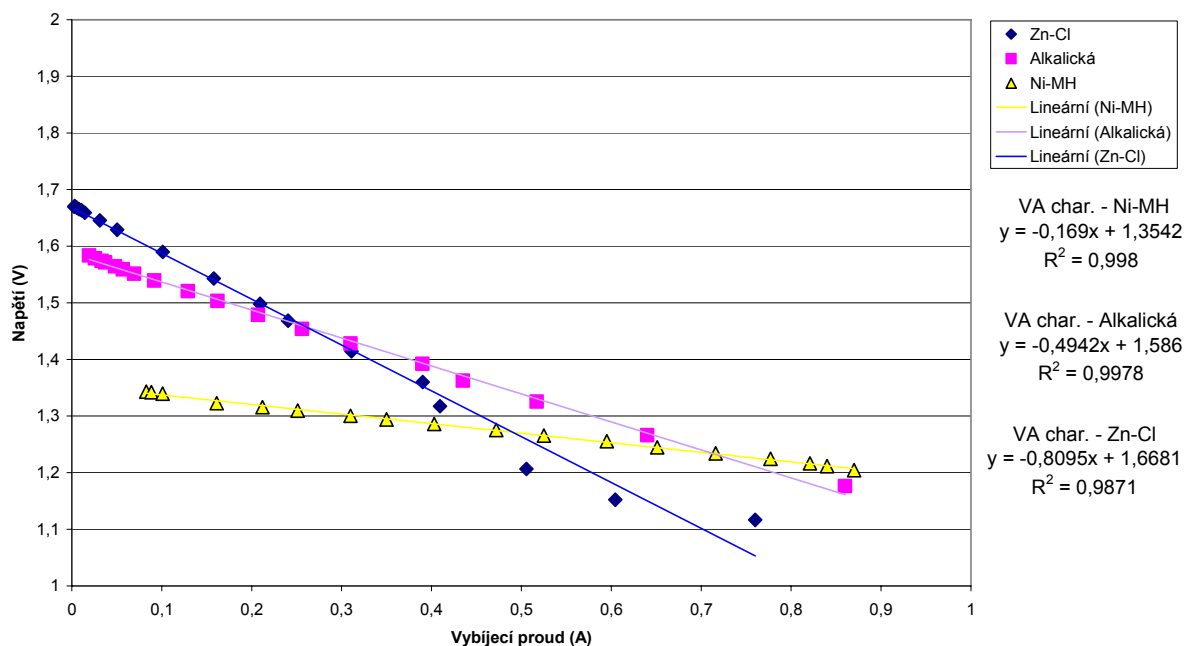
1.4.3 Měření a hodnoty

Tabulka 1.e - Naměřené hodnoty vnitřního odporu baterií

Zn-C			Alkalická			Ni-MH		
Napětí 1,682 V naprázdno			Napětí 1,601 V naprázdno			Napětí 1,360 V naprázdno		
Napětí (V)	Proud (A)	Odpor	Napětí (V)	Proud (A)	Odpor	Napětí (V)	Proud (A)	Odpor
1,671	0,00301	3,488372	1,5835	0,0192	1,145833	1,343	0,0827	0,199516
1,6695	0,00272	4,411765	1,5785	0,0258	1,046512	1,342	0,0884	0,197964
1,668	0,00545	2,477064	1,574	0,0331	0,951662	1,3395	0,101	0,19802
1,6655	0,00805	1,987578	1,5715	0,037	0,918919	1,3225	0,161	0,229814
1,6635	0,01065	1,690141	1,5645	0,0482	0,850622	1,3155	0,212	0,207547
1,659	0,01445	1,557093	1,559	0,0568	0,818662	1,3095	0,251	0,199203
1,6455	0,03108	1,158301	1,5515	0,0692	0,780347	1,3005	0,31	0,190323
1,629	0,05043	1,041047	1,5395	0,0917	0,719738	1,294	0,35	0,187143
1,59	0,1012	0,90415	1,5205	0,129	0,658915	1,286	0,403	0,182382
1,543	0,158	0,876582	1,5035	0,162	0,62963	1,2755	0,472	0,177966
1,498	0,2093	0,876732	1,4785	0,207	0,613527	1,2655	0,525	0,179048
1,4685	0,2405	0,885655	1,454	0,256	0,591797	1,2555	0,595	0,17479
1,4145	0,3111	0,858245	1,428	0,31	0,572581	1,2445	0,651	0,176651
1,36	0,3901	0,824148	1,392	0,39	0,547436	1,234	0,716	0,175279
1,3175	0,4095	0,888889	1,3625	0,435	0,558621	1,2245	0,777	0,173745
1,2065	0,5055	0,939664	1,3255	0,517	0,541586	1,2165	0,821	0,174178
1,152	0,6044	0,876075	1,266	0,64	0,530469	1,2115	0,84	0,17619
1,1165	0,76	0,743421	1,176	0,86	0,499419	1,2045	0,87	0,178161

1.4.4 Zpracování hodnot, grafy

Voltampérové charakteristiky



První graf ukazuje přímo naměřené hodnoty napětí a proudu. Pro elektrický zdroj se graf závislosti napětí na procházejícím proudu nazývá „Volt-ampérová charakteristika“.

Poznámka k zinko-uhlíkovým bateriím: Při odběru nad 0,4 A se baterie vybíjí již velmi rychle, proto jsou naměřené hodnoty zatížené velkou nepřesností.

Jak vypočítat vnitřní odpor ?

a) Když **známe** hodnotu elektromotorického napětí (tedy napětí nezatíženého článku).

Proložíme grafy voltampérových charakteristik „spojnicí trendu“ (v excelu) a získáme analytický předpis pro přímky, které nejlépe popisují dané hodnoty. Kritériem spolehlivosti je právě koeficient R^2 . Je-li hodnota tohoto koeficientu lepší než 0,99, pak danou přímku skutečně považujeme za analytický předpis hledané závislosti.

Známe tedy závislost napětí na procházejícím proudu: $U = a \cdot I + b$. Dále vezmeme definici vnitřního odporu :

$R_i = (U_e - U) / I$. Nyní můžeme dosazením za U určit závislost $R = f(I)$.

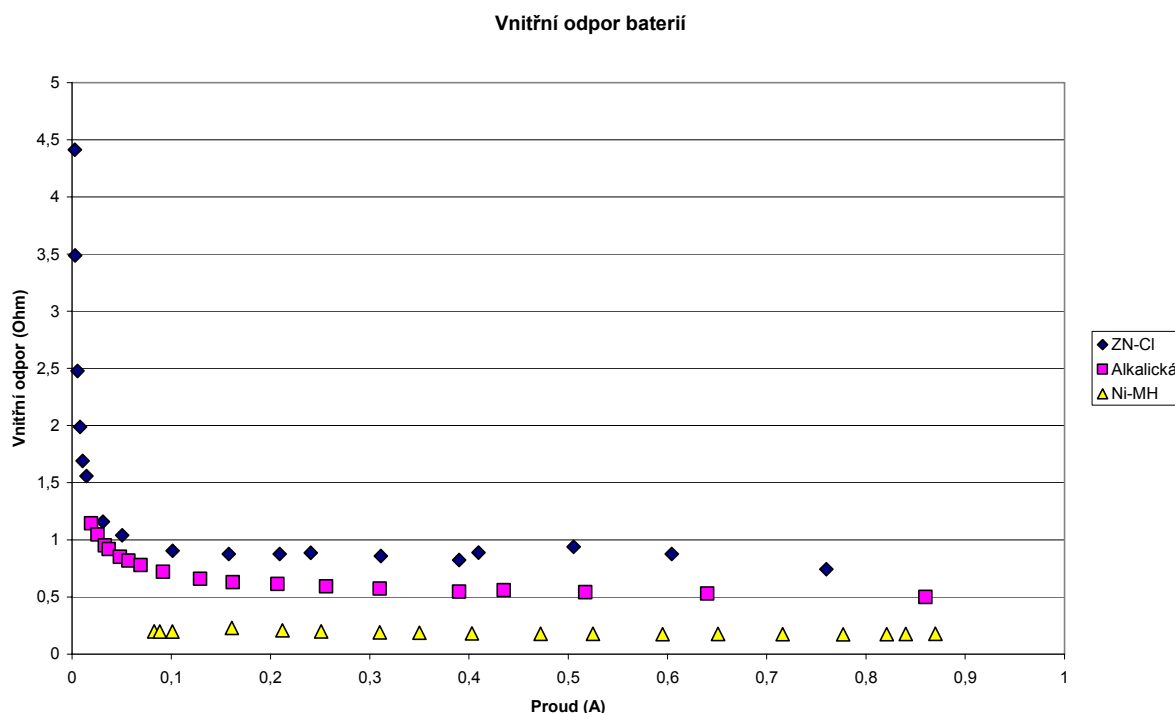
$$R_i = \frac{U_e - U}{I} = \frac{U_e - (a \cdot I + b)}{I} = \frac{U_e - b}{I} - a = \frac{c}{I} - a$$

Vidíme, že **vnitřní odpor baterií** závisí na vybíjecím proudu **nepřímo úměrně**. Konkrétní koeficienty už není problém dosadit a případné předpisy funkcí dopočítat.

Při zpracování jsme z naměřených hodnot vypočítali hodnoty vnitřního odporu podle vztahu

$$R_i = \frac{U_e - U}{I}$$

Graf závislosti takto vypočteného vnitřního odporu :



Z grafu vyplývá, že nejmenší vnitřní odpor mají dobíjecí baterie. Odpor se mění v celém rozsahu odebíraného proudu pouze nepatrně. Alkalická baterie spolu se zinko-chloridovou jsou na tom hůře, obzvláště při velmi malém odběru. Takto malé proudy ovšem baterii nijak zvlášť nezahřívají.

b) **Neznáme** hodnotu elektromotorického napětí.

Budeme předpokládat, že pro malou změnu vybíjecího proudu (tedy i svorkového napětí) zůstává elektromotorické napětí i vnitřní odpor přibližně stejné. Pak podle „definice“ vnitřního odporu víme, že pro svorkové napětí, měřený proud, elektromotorické napětí a vnitřní odpor platí rovnice :

$$U_s = U_e - R_i \cdot I$$

Pro dvě změřené dvojice hodnot U_1, I_1 a U_2, I_2 sestavíme soustavu rovnic, která umožní vyjádřit vnitřní odpor pomocí měřených hodnot napětí a proudu, již bez vztahu k elektromotorickému napětí :

$$\begin{aligned} U_1 &= U_e - R_i \cdot I_1 \Rightarrow U_e = U_1 + R_i \cdot I_1; \text{ dosadíme} \\ U_2 &= U_e - R_i \cdot I_2 \Rightarrow U_2 = U_1 + R_i \cdot I_1 - R_i \cdot I_2 \Rightarrow U_2 - U_1 = R_i \cdot (I_1 - I_2) \Rightarrow R_i = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} \end{aligned}$$

Průměrné hodnoty vycházejí velmi podobně, jako hodnoty určené předchozí metodou.

Tabulka 1.f - Vnitřní odpor baterií

Typ článku	Průměrný vnitřní odpor (při vybíjecím proudu $> 0,1$ A)
Zn-Cl baterie	$(0,9 \pm 0,4) \Omega$
Alkalické články	$(0,55 \pm 0,08) \Omega$
Ni-MH akumulátory	$(0,18 \pm 0,04) \Omega$

1.4.5 Závěr měření vnitřního odporu

Nejllepší VA charakteristiku mají dobíjecí Ni-MH akumulátory. I když je jejich elektromotorické napětí menší než 1,5 V, svorkové napětí se pro celý rozsah vybíjecích proudů mění jen nepatrně. Naopak Zn-Cl články mají sice vysoké klidové napětí, ale při větším odběru toto napětí rychle klesá.

Z grafu Volt-ampérové charakteristiky je patrné, že přístroje s nároky na odběr do **0,25 A** (kapesní svítilny, tranzistorová rádia...) lze bez problémů napájet pomocí obyčejných Zn-Cl článků. Fotoaparáty, halogenové svítilny a další přístroje s odběrem kolem 0,5 A je ovšem nutné napájet výhradně pomocí alkalických baterií, či Ni-Cd či Ni-MH článků.

2. Měření pyroelektrického koeficientu

2.1 Úvod a teorie

2.1.1 Pyroelektrický jev

Pyroelektrický jev je takový jev, kdy při zahřátí látky dochází ke změně její polarizace. Tato změna polarizace se makroskopicky projeví vznikem elektrického náboje na plochách vzorku, vyrobeného z pyroelektrického materiálu.

Vztah mezi změnou polarizace ΔP a změnou teploty ΔT vyjadřuje pyroelektrický koeficient p . (Pozn. ke značení – tučnou kurzívou značíme vektory, kurzívou skalární veličiny). Vztah tedy vypadá následovně :

$$\Delta P_i = p_i \cdot \Delta T$$

Pyroelektrický koeficient je vektorová veličina (Teplota je skalární veličina a ta má pouze jednu hodnotu, zatímco na druhé straně rovnice máme vektor polarizace, tedy tři hodnoty. Proto musí být pyroelektrický koeficient vektorem – aby i na pravé straně rovnice byly tři různé hodnoty). Proto hodnoty p měříme pro tři osy.

2.1.2 Určování pyroelektrického koeficientu

Vzorek zkoumaného materiálu ve tvaru kvádry má nanesené elektrody na dvou protějších stěnách. Je-li obsah odpovídajících stěn roven S , pak změna polarizace ΔP odpovídá podílu Q/S , kde Q je náboj, který se objeví na elektrodách při zahřátí vzorku o ΔT . (Tento vztah mezi polarizací a nábojem je odvozen ve výkladové části, v kapitole 6.) Měříme tedy náboj na elektrodách v závislosti na teplotě vzorku a výchozím bodem pro určování pyroelektrického koeficientu je pro nás graf závislosti polarizace na teplotě.

Naměřené hodnoty poté proložíme křivkou, popsanou následující funkcí:

$$P = k \cdot \sqrt{(T_c - T)} \quad , \quad \text{kde } k = \pm \sqrt{\frac{a}{b}} \text{ je konstanta pro daný materiál a } T_c \text{ je hodnota Curieovy teploty}$$

Tento tvar funkce vyplývá z Landauovy teorie fázových přechodů. Naše funkce je obecnější – místo exponentu 0,5 jsme použili proměnlivý parametr „ m “.

2.1.3 Charakteristiky vzorků LaTGS

Krystaly obvykle označované zkratkou TGS (triglycin sulfát) jsou krystaly $(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$. Jedná se o velmi známý feroelektrický materiál, který lze snadno a poměrně rychle vypěstovat i ve velkých velikostech monokrystalů. K výrobě tohoto materiálu se používá metoda rychlostního pěstování ochlazením vodného roztoku.

TGS krystalizuje v monoklinické soustavě, za pokojové teploty má třídu symetrie 2 (tato třída má nenulový pyroelektrický koeficient ve směru osy y). Nad Curieovou teplotou ($\sim 49^\circ\text{C}$) se třída symetrie mění na $2/m$ (Tato třída má pyroelektrické koeficienty ve všech směrech rovny nule). Přechod mezi paraelektrickou a feroelektrickou fází je typickou ukázkou přechodu druhého druhu. Spontánní polarizace \vec{P}_s vzniká podél dvojčetné polární osy y .

Krystaly TGS jsou široce využívány zejména díky svým pyroelektrickým vlastnostem při výrobě detektorů pracujících v infračervené oblasti a zobrazovacích systémů. Mezi výhody tohoto materiálu patří vysoké hodnoty pyroelektrického koeficientu a měrného elektrického odporu, nízká hodnota dielektrické permitivity a především jednoduchost výroby dostatečně velkých krystalů vysoké kvality.

Dopování TGS L- α -alaninem ($C_3H_7O_2N$) má za následek vznik silného vnitřního elektrického pole v krystalu. Toto elektrické pole je natolik stabilní, že monokrystaly LaTGS jsou permanentně polarizované ve směru monoklinické osy *b*. Pod Curieovou teplotou ($T_C \sim 49^\circ C$) jsou krystaly monodoménové, čímž odpadá nutnost dodatečné polarizace a problémy s depolarizací vzorků. Velikost vnitřního elektrického pole silně závisí na koncentraci L- α -alaninu. Námi použité vzorky jsou dopovány L-alaninem v koncentraci 0.168% LATGS (chromatografie: 168 mg L-alaninu ve 100 g LATGS).

(Odstavec „charakteristiky vzorků“ byl s laskavým svolením paní Mgr. Dagmar Panošové převzat z její disertační práce „Stanovení elektromechanických vlastností vybraných piezoelektrických materiálů“, obhájené v rámci doktorského studia oboru fyzikální inženýrství na katedře Fyziky, TUL v Liberci).

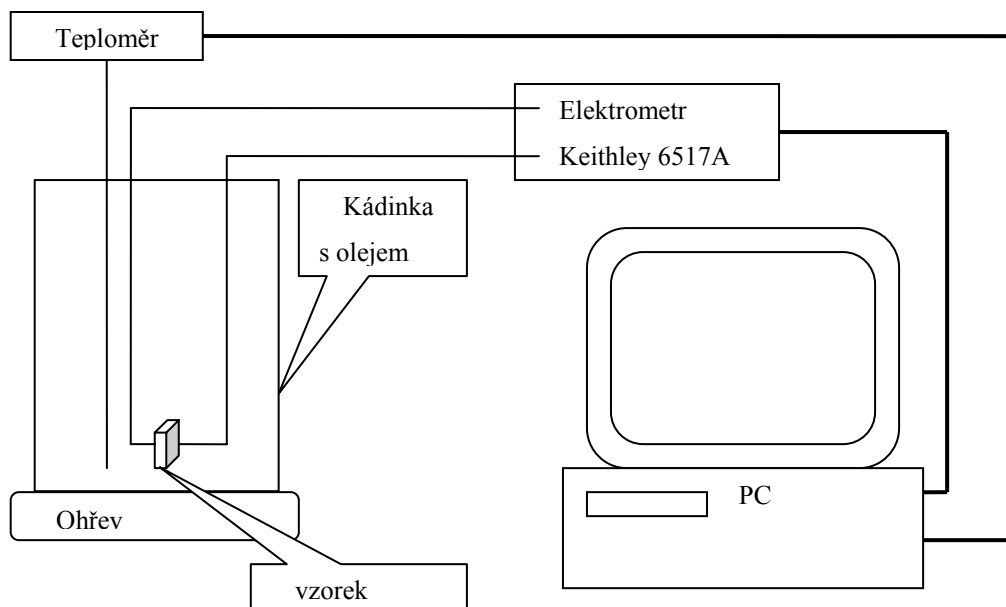
2.2 Popis vzorků, přípravy a průběhu měření

Všechny námi použité vzorky mají tvar kvádrů a elektrody nanесeny kolmo k ose *y*. Následující tabulka shrnuje jejich rozměry:

Tabulka 2.a - Rozměry vzorků LaTGS

Číslo použité sady_ číslo vzorku	rozměry (mm)	plocha elektrod (mm^2)
1_2	20,20 * 4,10	82,82
1_3	20,05 * 4,10	82,205
2_1	20,10 * 4,10	82,41
2_2	20,15 * 4,10	82,615
2_3	20,10 * 4,15	83,415

2.2.1 Schéma zapojení :



Pozn :

Přesnost elektrometru podle údajů výrobce ($0,4\% \pm 5$ krát poslední platná cifra)

Přesnost použitého teploměru ($\pm 0,01^\circ C$)

2.2.2 Průběh měření

Každý vzorek byl proměřován v rozsahu teplot 20°C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$, podle pokojové teploty) až 55°C , zahřívání probíhalo rychlostí zhruba $+1^{\circ}\text{C}$ za minutu, teplota byla měřena s přesností na $0,01^{\circ}\text{C}$. Díky zahřátí na teplotu přesahující hodnotu Curieovy teploty je na grafech polarizace zachycena i změna polarizace, způsobena fázovým přechodem. Ochlazování probíhalo zhruba stejnou rychlostí do teploty asi 35°C . rychlost ochlazování ovšem s menším rozdílem teplot poté výrazně klesla.

Celková doba měření jednoho vzorku byla zhruba 2-3 hodiny.

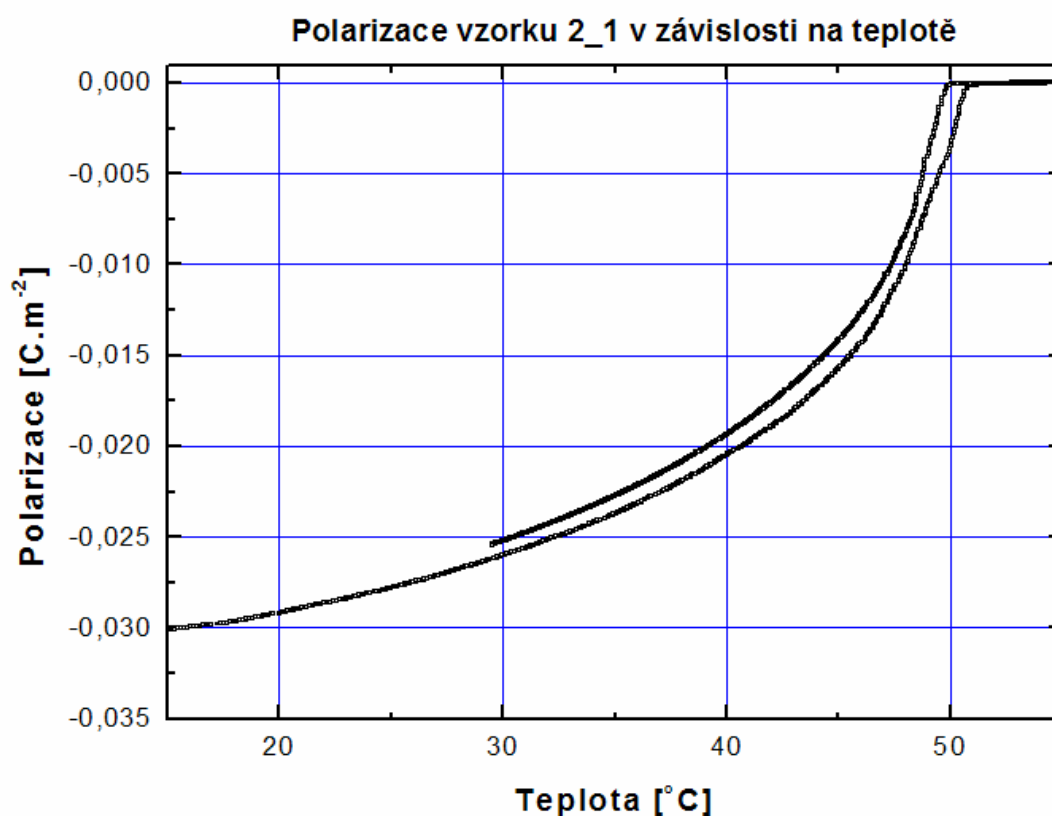
Během měření byly vzorky ponořeny v silikonovém oleji. Ztráty elektrického náboje na vzorku, způsobené případnou nenulovou vodivostí oleje, se při měření neprojevily (Přesněji řečeno – jejich příspěvek k výsledné chybě měření lze zanedbat).

Hodnoty náboje byly snímány výše zmíněným elektrometrem, rozlišení displeje při daném rozsahu – poslední platná číslice odpovídá náboji $0,01\text{nC}$.

Hodnoty byly zaznamenávány po sekundách.

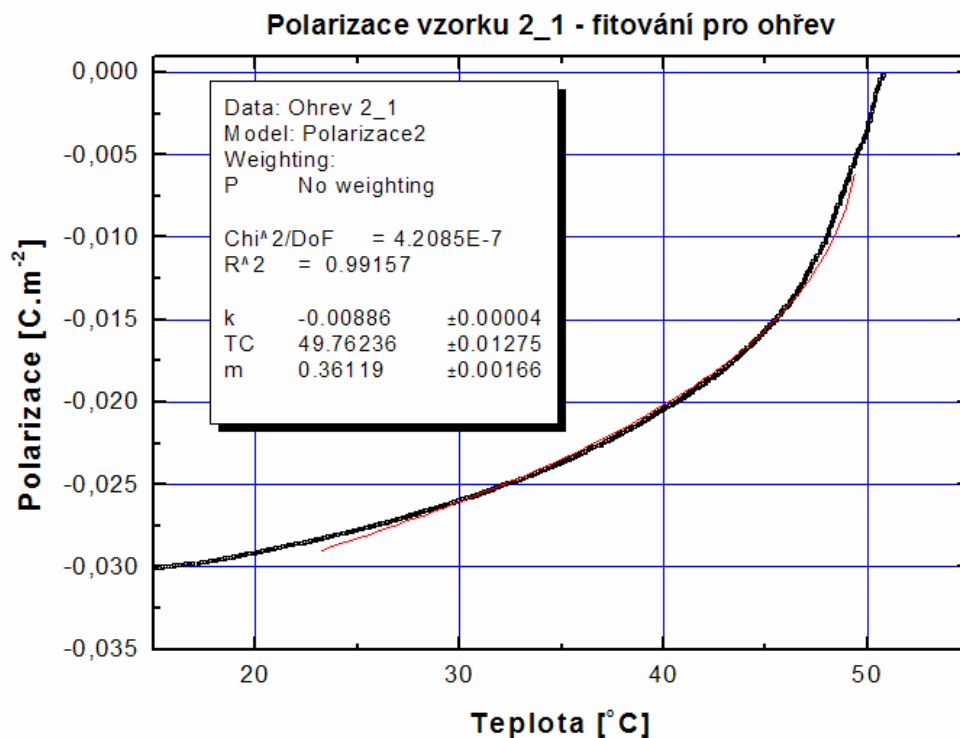
2.3 Zpracování naměřených hodnot

a) Z náboje a plochy elektrod vyjádříme polarizaci, a vyneseme její závislost na teplotě



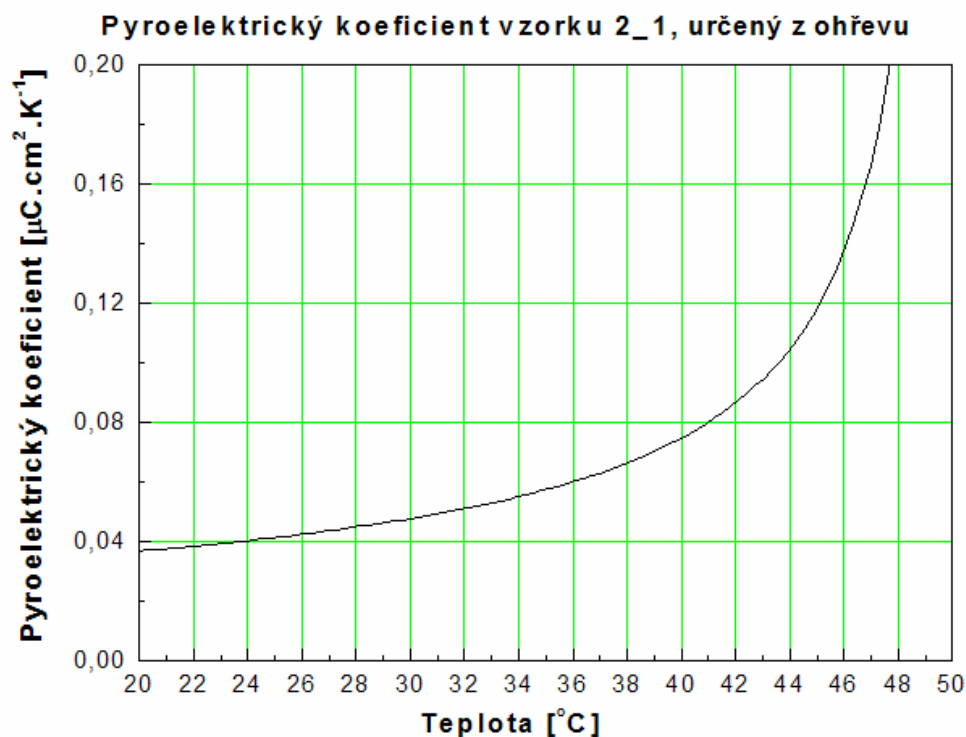
V grafu jsou znázorněny všechny naměřené hodnoty polarizace, spodní křivka je polarizace při zahřívání, vyšší hodnoty odpovídají chlazení vzorku. Kolem 50°C je dobře patrný fázový přechod – nad touto teplotou mění vzorek krystalovou třídu a ztrácí pyroelektrické vlastnosti.

b) Každou z větví posuneme do záporných hodnot a proložíme funkcí tvaru $P = k \cdot (T_C - T)^m$, (v souladu s teorií fázových přechodů). Následující graf ukazuje příklad takové fitace (= proložení hodnot funkcí).



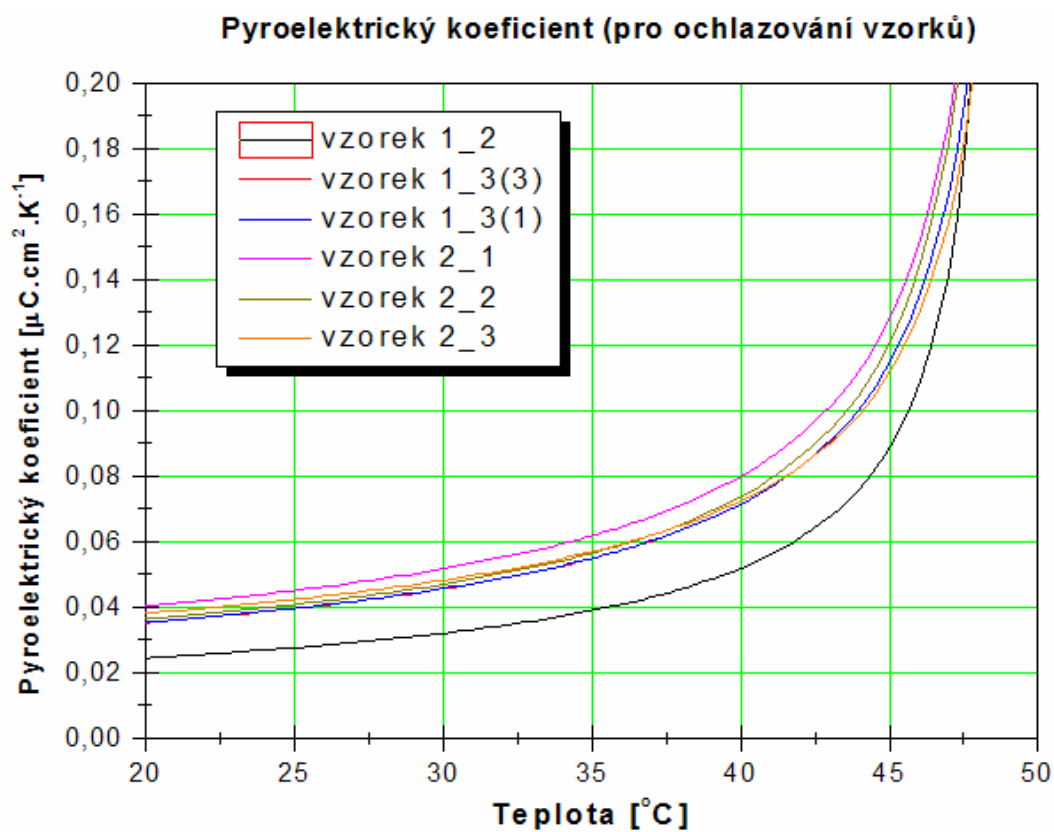
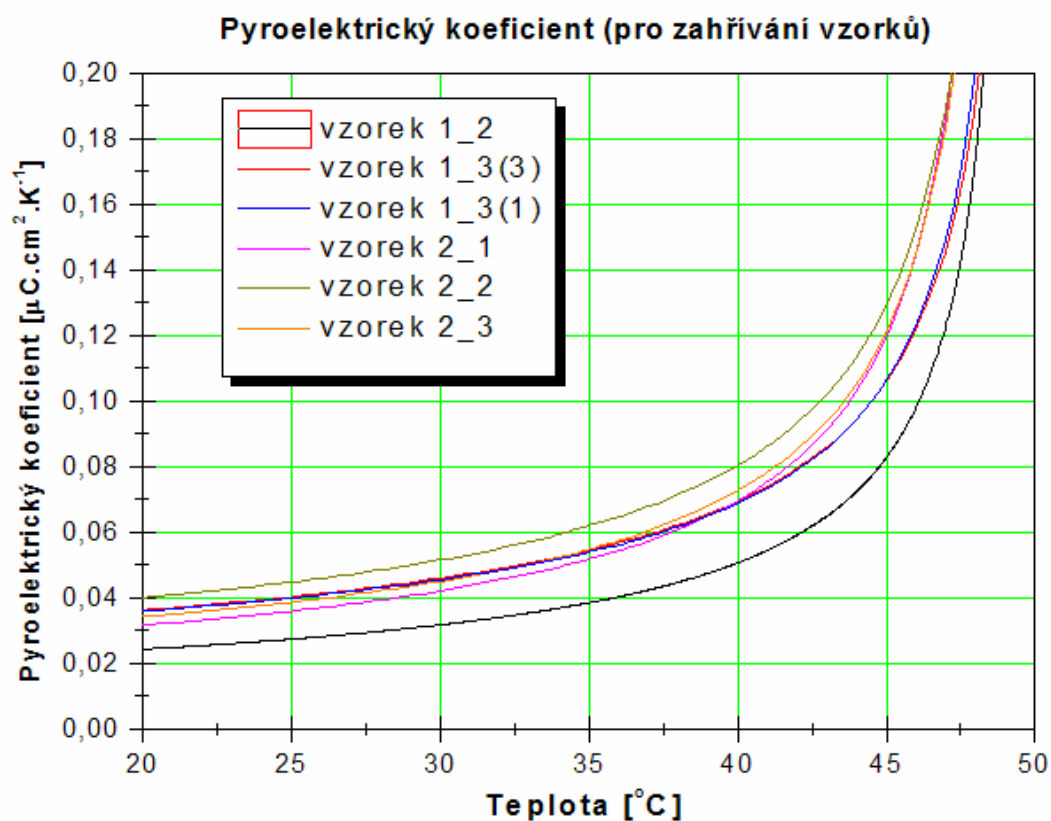
c) Pyroelektrický koeficient získáme derivováním dané funkce podle teploty. Obecný předpis má tvar :

$$\frac{dP}{dT} = m \cdot k \cdot (T_C - T)^{m-1}$$



d) Analogickým postupem zpracujeme i ochlazování. Celkem pro šest různých měření.

2.3.1 Grafy pyroelektrického koeficientu pro 0,168% LaTGS



2.4 Shrnutí výsledků měření, srovnání s tabulkami

Parametry k , T_C a m , funkce, popisující co nejlépe průběh teplotní závislosti pyroelektrického koeficientu pro 0,168% L-alaninem dopované TGS, byly určeny průměrováním koeficientů jednotlivých fitačních funkcí. Předpis této funkce a průměrné hodnoty jednotlivých parametrů uvádí následující tabulka :

Tabulka 2.b - Průměrné hodnoty fitačních koeficientů

Pyroelektrický koeficient závisí na teplotě, jeho hodnotu pro dané T určíme z předpisu : $p_{(T)} = m \cdot k \cdot (T_C - T)^m$ (Průměrné hodnoty koeficientů pro 0,168% LaTGS viz vpravo)	$k = (0,00743 \pm 0,00151)$
	$m = (0,376698 \pm 0,038418)$
	$T_C = (49,337602 \pm 0,187357)$

Pyroelektrický koeficient pro 25°C, určený z našich měření má hodnotu

$$p_2 = 383 \mu\text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Pro srovnání uvádíme hodnoty, publikované roku 2004 v článku „Growth and characterization of TGS and DTGS single crystals doped with Pt(II), Pt(IV) and L-alanine“ autorů J.Novotného, B.Březiny a J.Zelinky, vydaného pod záštitou ČAV v časopise Cryst. res, technik 39, No.12, 1089-1098(2004), vydaného nakladatelstvím WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. K dispozici je tento článek na webové adrese http://www.crystalresearch.com/crt/ab39/1089_a.pdf.

Tabulka 2.c - Porovnání s hodnotami ze zmíněného článku

Koncentrace L-Alaninu (%)	0,168	0,6	1	1,6
Hodnota pyrokoeficientu ($\mu\text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	383	445	482	494

2.4.1 Odhad chyby měření pyroelektrického koeficientu

Pro odhad chyby vyjdeme z definice pyroelektrického koeficientu:

$$p = \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\Delta Q}{S \cdot \Delta T}$$

Pyroelektrický koeficient je tedy závislý na třech přímo měřených veličinách (teplotě, náboji, ploše elektrod). Nyní odhadneme jejich relativní chyby:

Vezmeme-li teplotní interval ΔT , máme jeho přesnost určenu s chybou $\pm 0,02^\circ\text{C}$. Pro $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$ vyjde relativní chyba $\delta_T = 4\%$.

Změně teploty o $0,5^\circ\text{C}$ odpovídá minimální změna náboje ΔQ (v uvažovaném intervalu měření) $\Delta Q = 0,7228 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, chyba podle údajů výrobce dosahuje $0,4\% \pm 5\text{digit}$. Při použitém rozsahu odpovídá hodnota poslední platné cifry $0,01 \text{ nC}$, tedy $1 \cdot 10^{-11} \text{ C}$, relativní chyba stupnice je tedy $0,14\%$, při započítání systematické relativní chyby $0,4\%$ dostáváme chybu měření náboje pro jednu hodnotu $0,54\%$, tedy celkem $\delta_Q = 1,08\%$.

Rozměr destiček byl měřen s přesností na 0,01mm, rel. odchylky pro rozměry 20mm a 4,1mm vychází 0,05% a 0,25%, Celková chyba určení rozměrů vzorků je tedy $\delta_s = 0,3\%$.

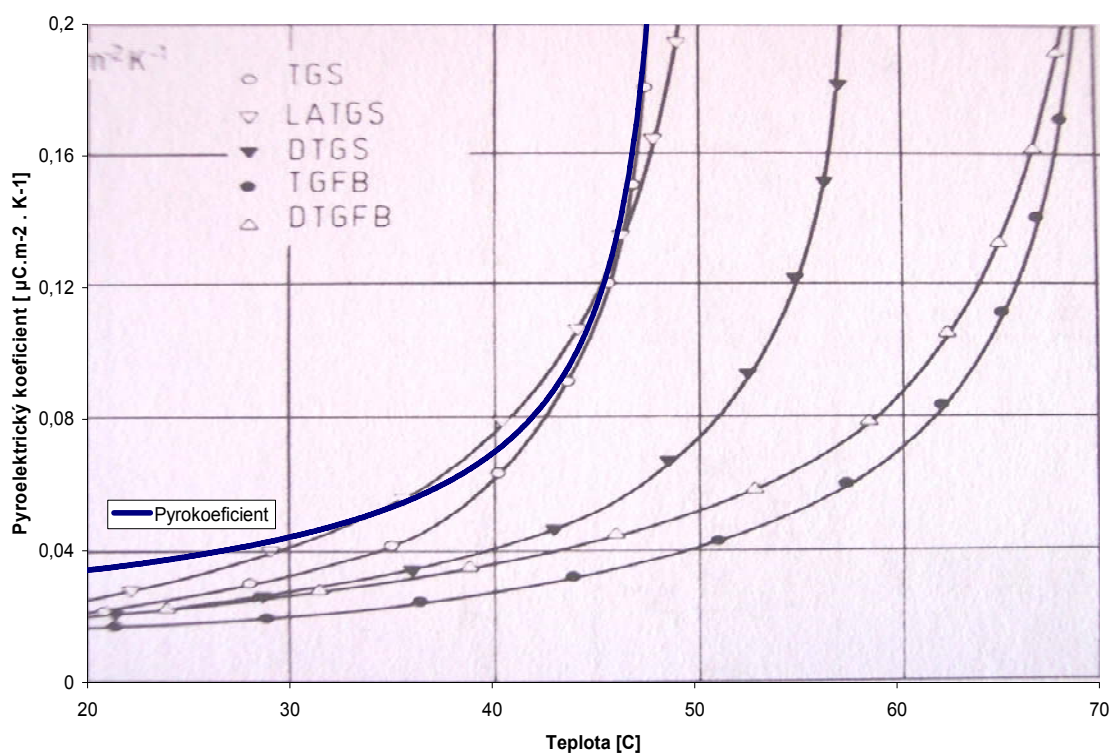
Celková relativní chyba určení pyroelektrického koeficientu je dána součtem relativních chyb jednotlivých veličin, její celková hodnota je zhruba $\delta_p = 5,38\%$.

Hodnota pyroelektrického koeficientu materiálu 0,168% L-alaninem dopovaného TGS pro 25°C :

$$p_2 = (380 \pm 20) \mu\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$$

Na závěr ještě uvedme porovnání s grafem, uvedeným v tabulkách „Landolt-Börnstein“, Skupina III „Condensed matter“, vydávané nakladatelstvím Springer Verlag. Feroelektrické vlastnosti popisuje svazek III/28, část b), naposledy vydaný v roce 1990, 833s., ISBN 3-540-51877-0

Pyrokoeficient 0,168% LaTGS



Závěr a shrnutí výsledků práce

Hlavním vodítkem k výběru vhodného obsahu se stala anketa, kterou jsme předložili celkem více než 300 studentům všech ročníků na čtyřech různých gymnáziích. Úkolem ankety bylo zjistit nejen jejich zájem o konkrétní témata, ale i míru „potřebnosti“ textu takového typu. Na základě vyhodnocení této ankety (toto vyhodnocení je součástí I. části této práce) byla vybrána následující technická zařízení: Detektory pohybu, Navigační systém GPS, Optická datová média, LCD displeje, Alternativní zdroje energie, Piezo-/Pyro-materiály.

Další část této práce je pak tvořena šesticí výkladových kapitol, rozebírajících uvedená zařízení z hlediska fyzikálních principů, spojených s jejich fungováním, dále z hlediska technické realizace a překonávání jejich obtíží. Část kapitol je věnována i poznámkám z historie, současnosti a možné budoucnosti daného oboru. Od původního záměru rozdělit výkladovou část na dva různé stupně - popularizační popis pro studenty a rozbor teorie pro vyučující bylo upuštěno. Příslušná podrobná teorie byla na určitých místech vypuštěna, protože se domníváme, že je obsažena v dostatečné míře v běžných gymnaziálních učebnicích. Dané kapitoly mohou sloužit nejen jako doplňkový zájmový text pro samostudium studentů, mohou být také využity při „projektovém vyučování“ jako náměty na dlouhodobější studentské projekty s fyzikálním zaměřením. V textu jsou na některých místech formulovány i jisté „problémy“, ať už přímo řešené či ne, které mohou být přenechány studentům k řešení v rámci vyučování problémového.

Třetí, závěrečná část, obsahuje náměty k několika vlastním snadno proveditelným měřením, spojených zejména s kapitolou „Alternativní zdroje energie“. Měření se zabývají :

- a) určením výkonu solárního článku
- b) přibližným stanovením jeho účinnosti
- c) kalibrací článku jako jednoduchého luxmetru – měřiče osvětlení
- d) porovnáním vnitřního odporu různých typů baterií.

Všechna tato měření jsou nenáročná na pomůcky i provedení, mohou sloužit jako náměty k samostatným měřením v rámci laboratorních cvičení, nebo mohou být součástí učitelských demonstrací.

Kromě návodů k středoškolským měřením je součástí třetí kapitoly i ukázka měření pyroelektrického koeficientu materiálu LaTGS, používaného při konstrukci infračervených senzorů pohybových detektorů. I když toto měření není přímo proveditelné na střední škole, je dobré tuto zjednodušenou ukázkou práce experimentálních fyziků do textu zařadit, neboť tvoří další pojítka mezi oblastí odborné vědecké fyziky a jejich praktických technických aplikací v běžném životě.

Seznam odkazů a použité literatury

Svoboda, E.: *Přehled středoškolské fyziky*. 3.vydání, PROMETHEUS, Praha, 1998, 497s. ISBN 80-7196-116-7

Halliday, D., Resnik, R., Walker, J.: *Fyzika*. 1.vydání, VUTIUM, Brno (PROMETHEUS, Praha), 2000, 1198s. (pětisvazkové), ISBN 80-214-1868-0 (ISBN 81-7196-213-9)

Landolt-Börnstein, Group III „Condensed matter“, Springer Verlag, 1990, 883s., ISBN 3-540-51877-0

J.Novotný, B.Březina, J.Zelinka: “Growth and characterization of TGS and DTGS single crystals doped with Pt(II), Pt(IV) and L-alanine“, vydaného pod záštitou ČAV v časopise Cryst. res, technik 39, No.12, 1089-1098(2004)

J. Tichý, G. Gautschi: *Piezoelektrische messtechnik*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980

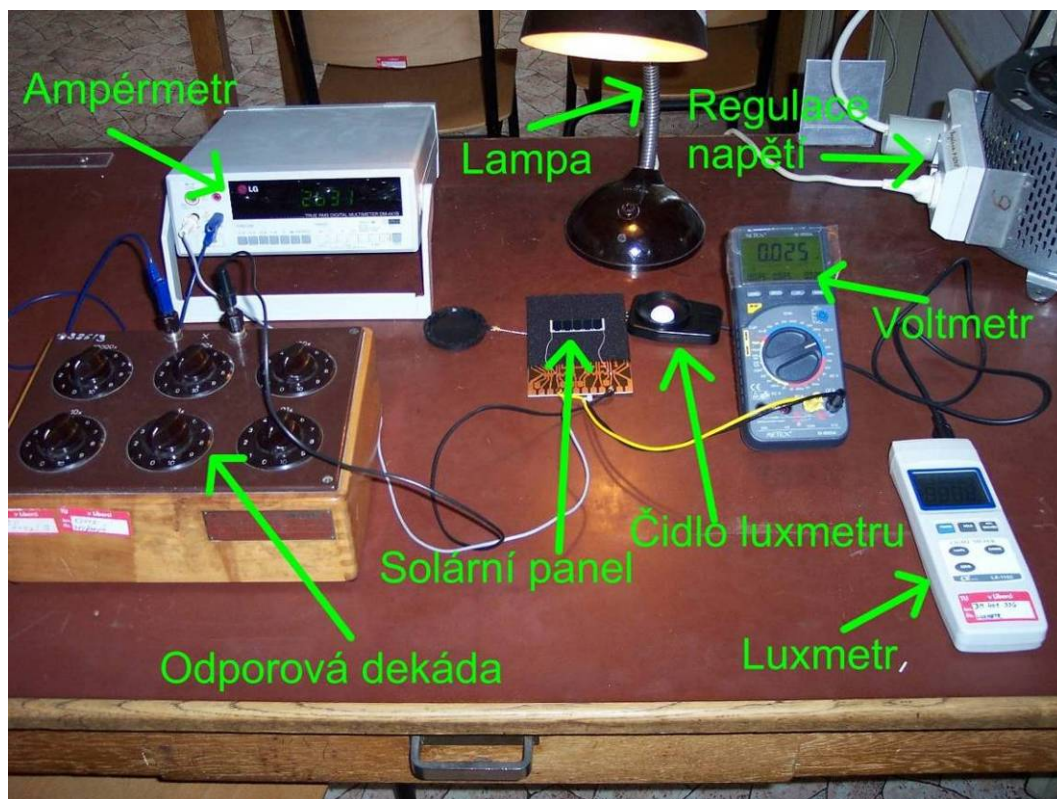
Keithley 6415 - referenční příručka k měřicímu přístroji

Elektronické zdroje – Podrobný seznam je součástí přílohy

Přílohy

Příloha 1. – Dodatky k části „Měření“

a) Obrázky k měření výkonu článku, kap. 1.1



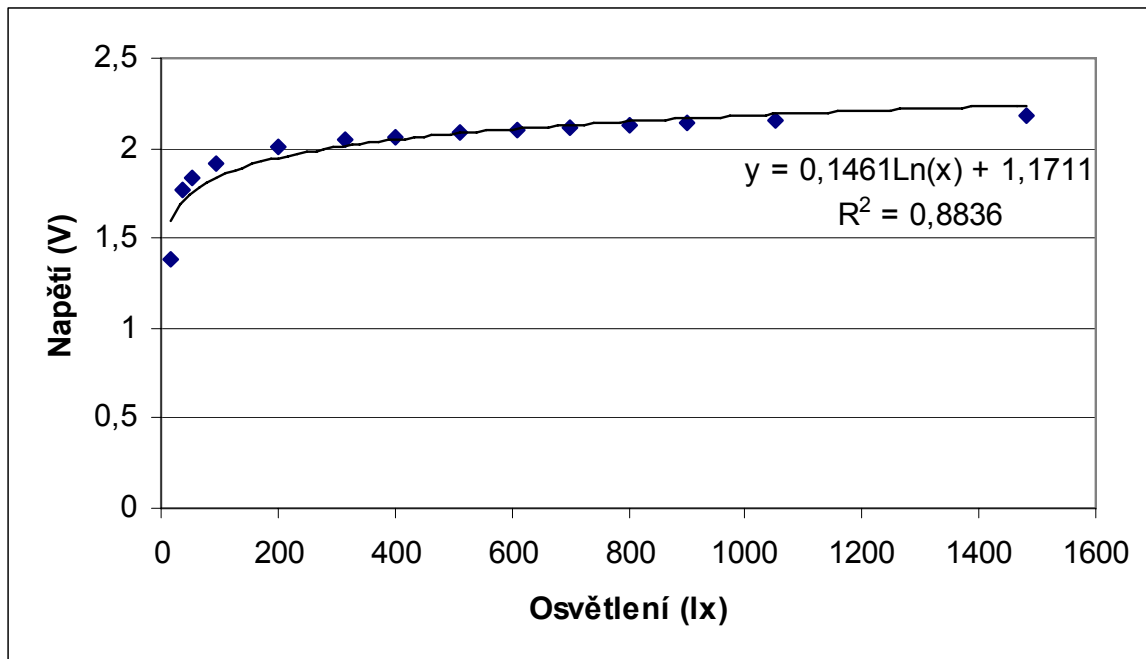
Obrázek 1 - Zapojení pro měření článku



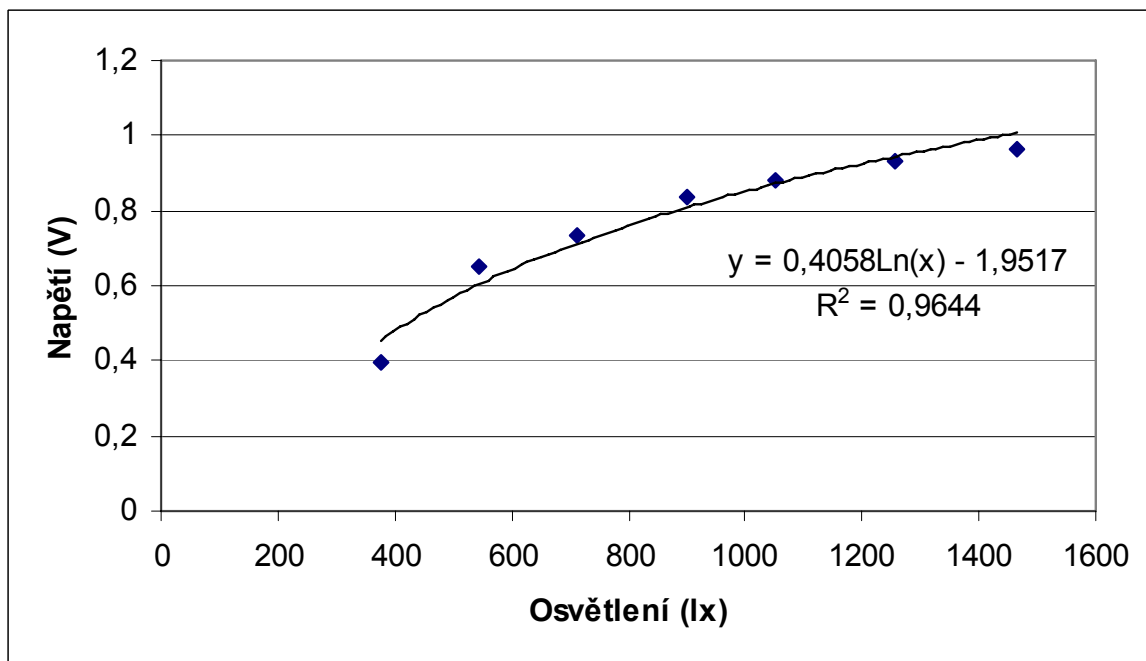
Obrázek 2 - Napětí naprázdno u solárního panelu

b) Porovnání kalibračních křivek z kapitoly 1.3

a) Měření pomocí napětí naprázdno

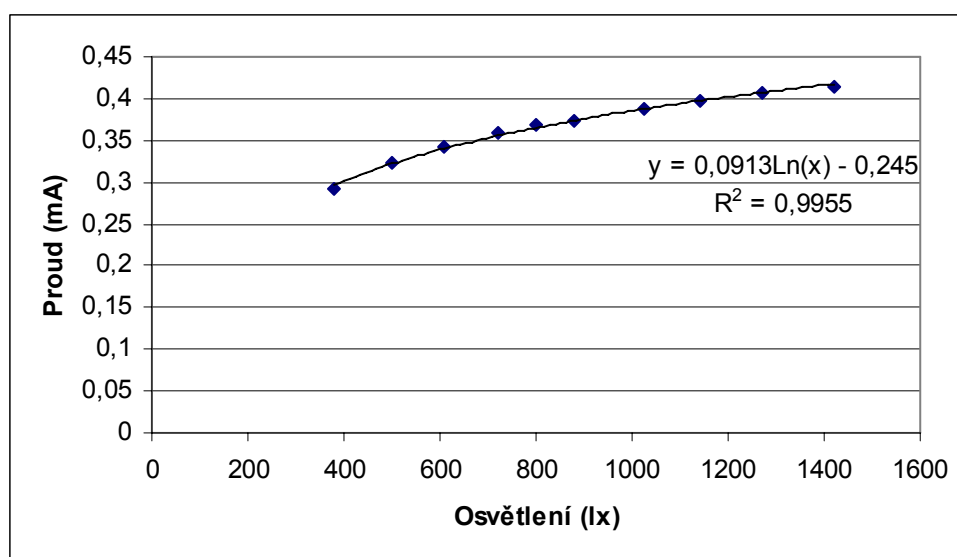


b) Napětí při regulovaném (konstantním) proudu



Proud při tomto měření byl udržován na hodnotě $(0,430 \pm 0,005)$ mA

c) Měření proudu při konstantním napětí 1 V (pracovní bod článku)



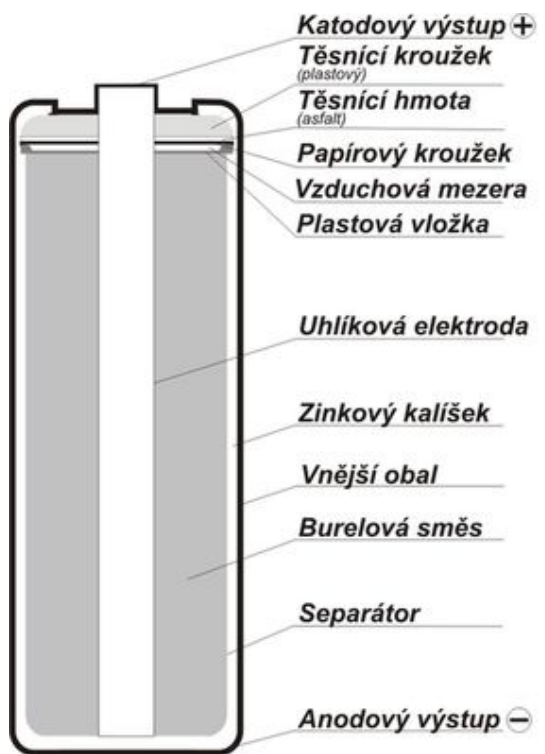
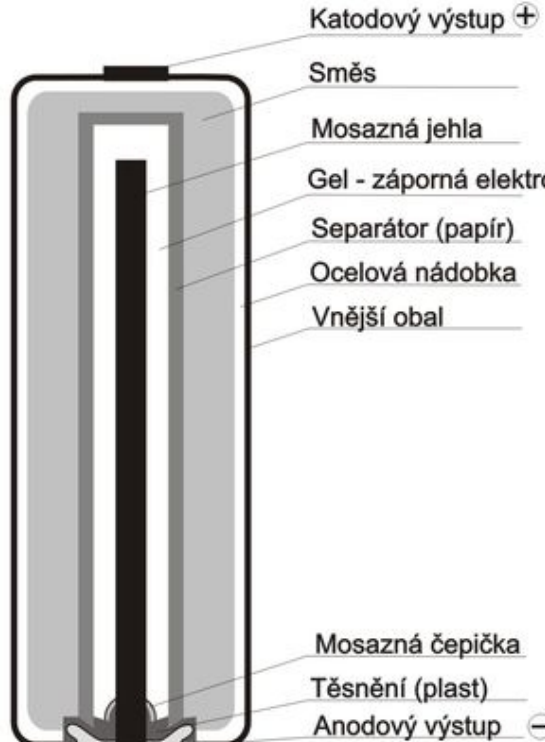
Tato metoda se zdá přesnější než měření zkratového proudu, je však o dost náročnější, vyžaduje navíc použití potenciometru s velkým rozsahem.

Tabulka 1 - Naměřené hodnoty pro kalibraci

ad a)		ad b)		ad c)		ad d) graf viz přísl. kap.	
Napětí naprázdno (V)	Osvětlení (lx)	Napětí (V)	Osvětlení (lx)	Proud (mA)	Osvětlení (lx)	Proud (mA)	Osvětlení (lx)
		0,397	375	0,292	380	0,1972	105,3
2,185	1480	0,651	545	0,3235	500	0,2333	131,5
2,153	1050	0,732	710	0,343	608	0,259	152,5
2,14	900	0,839	900	0,3587	722	0,3014	185
2,13	800	0,882	1052	0,3677	800	0,3305	210,8
2,119	700	0,933	1255	0,3744	880	0,3778	252,2
2,104	610	0,966	1465	0,3872	1025	0,4272	298
2,086	510			0,3968	1140	0,4651	332
2,064	400			0,4065	1270	0,525	394
2,052	314			0,415	1420	0,5369	431
2,002	200					0,5739	503
1,914	94					0,6086	582
1,836	54,6					0,6264	638
1,766	36,2					0,6444	705
1,388	17,8					0,6631	781
						0,6964	970
						0,7149	1080
						0,7299	1173
						0,7383	1222
						0,7419	1260
						0,7526	1361
						0,7741	1551
						0,8156	1830
						0,8298	2020
						0,8388	2210
						0,8586	2430
						0,8902	2805
						0,9119	3028

b) Charakteristiky baterií, použitých v kapitole 1.5

Tabulka 2 - popis složení jednotlivých typů baterií

<p>Zinkochloridová baterie</p> <p>Zinková nádobka (kalíšek) zastává funkci záporné elektrody. Do této nádobky je vloženo dýnko a svitek separačního papíru. Do svitku je nalisována směs burelu a sazí (uhlík). Jako výstupní kladná elektroda je v této směsi zaražen uhlíkový roubík, na který je nalisována kovová čepička, jako kladný pól baterie. Funkci elektrolytu zde zastává roztok chloridu zinečnatého. Tento elektrolyt je součástí směsi pro kladnou elektrodu. Celá sestava - směs, uhlík, separátor je zalita hmotou (ceresin, asfalt), aby bylo zabráněno přístupu vzduchu. Celý článek je poté opatřen vnějším obalem ať již folií, papírem nebo kovovou dutinkou.</p> <p>Funkce - Směs kladné elektrody je použita o poměrně vysoké vlhkosti. Tato navlhčí separační papír a reaguje se zápornou zinkovou elektrodou. V průběhu vybíjení se spotřebovává vlhkost obsažená v článku, takže na konci vybíjení je vnitřek článku suchý. Proto je nutné u nových článků zajištění dokonalé hermetičnosti - pokud by došlo k porušení hermetičnosti, článek by vyschl a k reakci by nemohlo dojít. V dřívějších systémech těchto suchých článků se jako elektrolyt používal pastovitý roztok salmiaku. U této technologie docházelo při vybíjení ke vzniku volné vody a tím bylo zapříčiněno vytékání elektrolytu.</p>	 <p>Katodový výstup + Těsnící kroužek (plastový) Těsnící hmota (asfalt) Papírový kroužek Vzduchová mezera Plastová vložka</p> <p>Uhlíková elektroda Zinkový kalíšek Vnější obal Burelová směs Separátor Anodový výstup -</p> <p>Obrázek 3 – Zn-Cl baterie</p>
<p>Alkalické baterie</p> <p>Ocelová nádobka zastává funkci kladného pólu baterie. Do této nádobky jsou nalisovány buď kroužky nebo trubka ze směsi burelu a uhlíku (sazí) - kladná elektroda. Doprostřed kladné elektrody je vložen separátor nasycený louhem. V tomto separátoru je vložen váleček záporné elektrody - emulze zinkového prášku v tyloze. Do této záporné elektrody je zaražena jehla (obvykle mosazná) jako záporný sběrač a vývod. Proto je u alkalických článků na rozdíl od zinkochloridových izolovaně zapertlované dýnko článku - záporný pól.</p> <p>Funkce - je založena na stejném principu jako u zinkochloridových článků, t.j. reakce zinku a uhlíku. Na rozdíl od normálních baterií zde reakce probíhá za přítomnosti alkalického elektrolytu - louhu. Rozdíly mezi těmito dvěma druhy primárních článků V alkalických bateriích se používají suroviny s vyšší elektrickou vodivostí (saze), dále je v nich podstatně vyšší podíl elektrolytického burelu. Díky použití zinkového prachu jako záporné elektrody má tato větší reakční plochu. Tím je dáno, že tyto baterie mají vyšší kapacitu a i jejich zatěžovací proudy jsou vyšší než u klasických článků.</p>	 <p>Katodový výstup + Směs Mosazná jehla Gel - záporná elektroda Separátor (papír) Ocelová nádobka Vnější obal</p> <p>Mosazná čepička Těsnění (plast) Anodový výstup -</p> <p>Obrázek 4 – Alkalická baterie</p>

Niklmetalhydridový akumulátor (Ni-MH)

Jsou v podstatě obdobou niklkadmiových akumulátorů. Byly vyvíjeny na základě požadavků na vyšší kapacitu akumulátoru při stejném objemu a s ohledem na zátěž životního prostředí. Nejvíce došlo k uplatnění tohoto typu akumulátorů u mobilní komunikace - mobilní telefony a přenosné počítače. vzhledem k náhradě těžkého kovu (kadmia) za směs jiných kovů, mají tyto akumulátory některé vlastnosti rozdílné od svých předchůdců. Jejich kapacita je oproti klasickým NiCd akumulátorům vyšší cca o 40% při stejné velikosti. Použitelnost v mezních klimatických podmínkách je horší - zaručená funkce je do -10C° maximálně. Též možnost vysokých vybíjecích proudů je u tohoto typu akumulátorů omezena na zhruba dvojnásobek kapacity.

Skladování těchto akumulátorů je možné v nabitém i vybitém stavu. Je ale nutné minimálně 3x v průběhu jednoho roku články několikrát nabít a vybit. Pokud se údržba zanedbá, dochází k obdobnému jevu jako při skladování vybitých olověných akumulátorů. Vlivem chemických reakcí dojde k znehodnocení elektrod akumulátoru a k nevratné ztrátě kapacity.

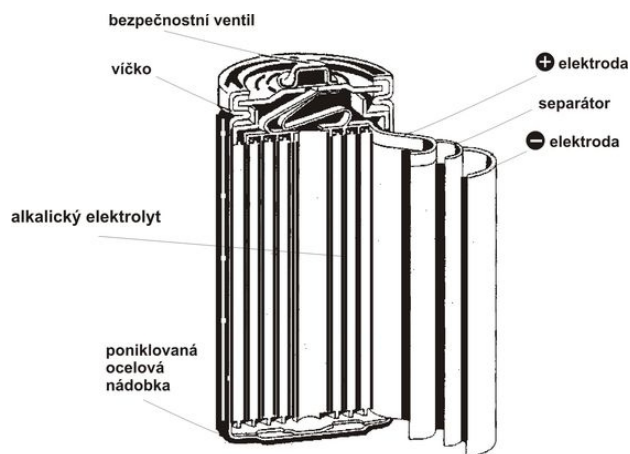
Složení:

Kladná elektroda - nikl

Záporná elektroda - hydrid směsi kovů - každý

výrobce si své složení chrání

Elektrolyt - draselný louh



Obrázek 5 – Schéma Ni-MH akumulátoru

(Obrázky a texty převzaty ze serveru <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--poucení/jak-to-funguje-.htm>)

Tabulka 3 - Orientační ceny baterií

Zn-C	5 Kč / kus
Alkalické	25–30 Kč / kus
Ni-MH	100 Kč / kus

Příloha 2. – Odkazy na elektronické zdroje

GPS

[Princip a fungování GPS](http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cislocianku=2005110301) <<http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cislocianku=2005110301>>
[The Global Positioning System](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html) <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html>
[GPS - Wikipedie, otevřená encyklopedie](http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS) <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>>
[Science World - Základ Galilea tvoří speciální hodiny](http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/ID/06AD64DE6490F8D3C12571070031234B?OpenDocument&cast=1)
<<http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/ID/06AD64DE6490F8D3C12571070031234B?OpenDocument&cast=1>>
[MobilMania.cz - Už vím, jak pracuje navigační systém GPS](http://mobilmania.cz/Profi/Ar.asp?ARI=111127&CHID=1&EXPS=&EXPA=)
<<http://mobilmania.cz/Profi/Ar.asp?ARI=111127&CHID=1&EXPS=&EXPA=>>
[Trimble - Why GPS?](http://www.trimble.com/gps/why.html) <<http://www.trimble.com/gps/why.html>>
[Howstuffworks "How GPS Receivers Work"](http://electronics.howstuffworks.com/gps.htm) <<http://electronics.howstuffworks.com/gps.htm>>
[Howstuffworks "How Atomic Clocks Work"](http://science.howstuffworks.com/atomic-clock1.htm) <<http://science.howstuffworks.com/atomic-clock1.htm>>
[Martin Poupa - Vše o času - Atomové hodiny](http://home.zcu.cz/%7Epoupa/ptb.html) <<http://home.zcu.cz/%7Epoupa/ptb.html>>
[G2 - Co je čas?](http://vt-2004.astro.cz/teorie/G2/) <<http://vt-2004.astro.cz/teorie/G2/>>
[ce4you.cz :: Články :: Co to je GPS? Historie a úvod do problematiky](http://www.ce4you.cz::Články::Co%20to%20je%20GPS?Historie%20a%20úvod%20do%20problematiky)
<<http://www.ce4you.cz/articles/detail.asp?a=244>>
[Der Aufbau des GPS-Systems - Das Weltraumsegment - Die Satelliten](http://www.kowoma.de/gps/Satelliten.htm)
<<http://www.kowoma.de/gps/Satelliten.htm>>

Detektory pohybu

[ACCES: Poradna EZS - Základní informace o detektorech](http://www.acces.cz/acces/poradna/detektory-pohybu.asp)
<<http://www.acces.cz/acces/poradna/detektory-pohybu.asp>>
[Dušek - ukázky zabezpečení](http://alarmy.hyperlink.cz/vzory.htm) <<http://alarmy.hyperlink.cz/vzory.htm>>
[Katalog-Paradox.pdf \(application/pdf objekt\)](http://www.ahservis.cz/Katalog-Paradox.pdf) <<http://www.ahservis.cz/Katalog-Paradox.pdf>>
[Howstuffworks "How Burglar Alarms Work"](http://electronics.howstuffworks.com/burglar-alarm.htm) <<http://electronics.howstuffworks.com/burglar-alarm.htm>>

LCD,Plasma,OLED

[Howstuffworks "How OLEDs Work"](http://science.howstuffworks.com/oled.htm) <<http://science.howstuffworks.com/oled.htm>>
[Howstuffworks "How LCDs Work"](http://electronics.howstuffworks.com/lcd.htm) <<http://electronics.howstuffworks.com/lcd.htm>>
[Howstuffworks "How Plasma Displays Work"](http://electronics.howstuffworks.com/plasma-display.htm) <<http://electronics.howstuffworks.com/plasma-display.htm>>
[Svět hardware - Technologie LCD panelů - Rozdíly mezi technologiemi výroby](http://www.svethardware.cz/art_doc-13A3DDDE9E71B617C125704A004DDB72.html)
<http://www.svethardware.cz/art_doc-13A3DDDE9E71B617C125704A004DDB72.html>
[Nové technologie v oblasti LCD displejů - Sunlight Viewable displays - automatizace.HW.cz](http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocianku=2005092901)
<<http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocianku=2005092901>>
[LCD monitory, LCD televize - vše o technologii tekutých krystalů](http://lcdmonitory.computerweb.cz/) <<http://lcdmonitory.computerweb.cz/>>
[GRAFIKA - Technologie LCD panelů v kostce](http://www.grafika.cz/art/hw/LCD-technologie-v-kostce)
<<http://www.grafika.cz/art/hw/LCD-technologie-v-kostce.html>>
[Monitory](http://www.volny.cz/krivka/monitory/monitory.htm) <<http://www.volny.cz/krivka/monitory/monitory.htm>>
[Polarizace světla fyzikální princip](http://www.mujiweb.cz/veda/che/polarizace_svetla.htm) <http://www.mujiweb.cz/veda/che/polarizace_svetla.htm>

CD,DVD,RW

[Howstuffworks "How CDs Work"](http://electronics.howstuffworks.com/cd.htm) <<http://electronics.howstuffworks.com/cd.htm>>
[Howstuffworks "How DVDs Work"](http://electronics.howstuffworks.com/dvd.htm) <<http://electronics.howstuffworks.com/dvd.htm>>
[Howstuffworks "How do CD-RWs \(rewriteable CDs\) work?"](http://electronics.howstuffworks.com/question655.htm)
<<http://electronics.howstuffworks.com/question655.htm>>
[Howstuffworks "How Blu-ray Discs Work"](http://electronics.howstuffworks.com/blu-ray4.htm) <<http://electronics.howstuffworks.com/blu-ray4.htm>>
[Sdělovací Technika](http://www.stech.cz/articles.asp?id=99&idk=149) <<http://www.stech.cz/articles.asp?id=99&idk=149>>
[PC WORLD](http://www.pcworld.cz/pcw.nsf/a07af03c00c2e321c12568c80055411e/238e0483a779ce44c125697d00732ca7?OpenDocument)
<<http://www.pcworld.cz/pcw.nsf/a07af03c00c2e321c12568c80055411e/238e0483a779ce44c125697d00732ca7?OpenDocument>>
[Blu-Ray a HD-DVD | Filmpub | Atlas.cz](http://filmpub.atlas.cz/temata/54704-blu-ray-a-hd-dvd.aspx) <<http://filmpub.atlas.cz/temata/54704-blu-ray-a-hd-dvd.aspx>>
[Referat](http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=3944) <<http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=3944>>
[Pevné a přenosné disky - Einstein.cz](http://hardware.einstein.cz/clanek/pevne-a-prenosne-disky/) <<http://hardware.einstein.cz/clanek/pevne-a-prenosne-disky/>>

Solární panely

[Howstuffworks "How Solar Cells Work"](http://science.howstuffworks.com/solar-cell.htm) <http://science.howstuffworks.com/solar-cell.htm>
[Fotoelektrický jev](http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/cz/st/dp/horsky/html/2fotoel.htm) <http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/cz/st/dp/horsky/html/2fotoel.htm>
[EkoWATT.CZ - Infolisty - Energie slunce: Výroba elektřiny](http://www.ekowatt.cz/library/infolisty/infolisty1999/slunce_elektrina.php3)
<http://www.ekowatt.cz/library/infolisty/infolisty1999/slunce_elektrina.php3>
[Spray-On Solar-Power Cells Are True Breakthrough](http://news.nationalgeographic.com/news/2005/01/0114_050114_solarplastic.html)
<http://news.nationalgeographic.com/news/2005/01/0114_050114_solarplastic.html>
[Solární články & panely Uni-Solar a EVALON-Solar - automatizace.HW.cz](http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocclanku=2006030901)
<http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocclanku=2006030901>
[Solární články z plastu](http://infojet.cz/view.php?cislocclanku=2003100603) <http://infojet.cz/view.php?cislocclanku=2003100603>
[100 solárních škol](http://solarni.cz/vystavagp.htm) <http://solarni.cz/vystavagp.htm>
[Fotovoltaiický článek - Wikipedie, otevřená encyklopedie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaiick%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek)
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaiick%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek>
[Zvyšování účinnosti solárních článků](http://www.infojet.cz/view.php?cislocclanku=2003092401) <http://www.infojet.cz/view.php?cislocclanku=2003092401>
[sv010532.pdf \(application/pdf objekt\)](http://www.automa.cz/download/sv010532.pdf) <http://www.automa.cz/download/sv010532.pdf>

Baterie

[Howstuffworks "How Batteries Work"](http://science.howstuffworks.com/battery.htm) <http://science.howstuffworks.com/battery.htm>
http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.2.4
<http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.2.4>
[Galvanický článek - Wikipedie, otevřená encyklopedie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek)
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek>
[ENVIROS » Palivové články « Perspektivní technologie](http://www.enviros.cz/palivove_clanky/palivove_clanky.html)
<http://www.enviros.cz/palivove_clanky/palivove_clanky.html>
[Science World - Menší palivové články](http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/0/0911FF293B29321FC1256E9700492098?OpenDocument&cast=1)
<http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/0/0911FF293B29321FC1256E9700492098?OpenDocument&cast=1>
[MobilMania.cz - Palivové články: energetická spása pro mobily](http://www.mobilmania.cz/Profi/AR.asp?ARI=109746)
<http://www.mobilmania.cz/Profi/AR.asp?ARI=109746>
[H2WEB - zaměřeno na vodík - Vodík a palivové články \(1\)](http://vodik.czweb.org/view.php?cislocclanku=2006021501)
<http://vodik.czweb.org/view.php?cislocclanku=2006021501>
[Palivový článek - Wikipedie, otevřená encyklopedie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek)
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek>
[cdr.cz: CeBIT 2005: Toshiba se hodlá předvést \(článek\)](http://cdr.cz/a/13506) <http://cdr.cz/a/13506>
[Howstuffworks "How Fuel Cells Work"](http://science.howstuffworks.com/fuel-cell.htm) <http://science.howstuffworks.com/fuel-cell.htm>
http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2
<http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2>
[1.ÚVOD DO PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ](http://hydrogenix.vsb.cz/teorie/1.kapitola.html) <http://hydrogenix.vsb.cz/teorie/1.kapitola.html>
[PDA Soft - Tajemství výdrže baterek](http://www.pdasoft.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=517)
<http://www.pdasoft.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=517>
[i-EKIS : Databáze dotazů a odpovědí : Palivové články](http://www.i-ekis.cz/?akce=archiv&ido=12) <http://www.i-ekis.cz/?akce=archiv&ido=12>
[ELEKTRINA](http://www.cez.cz/presentation/static/miniencyklopedie_elektriny/fyz2.htm) <http://www.cez.cz/presentation/static/miniencyklopedie_elektriny/fyz2.htm>
[Použití akumulátorů v DF](http://www.digineff.cz/cojeto/akumulatory/akumulatory.html) <http://www.digineff.cz/cojeto/akumulatory/akumulatory.html>
[Informační servis Akuservis Geryk](http://www.akuinfo.cz/index.php?id=1&lid=1) <http://www.akuinfo.cz/index.php?id=1&lid=1>
[Bateria Slaný CZ, s.r.o. - baterie - jak to funguje ?](http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-.htm)
<http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-.htm>

Piezo-a pyro-materiály

[Pyroelectricity - Wikipedia, the free encyclopedia](http://en.wikipedia.org/wiki/Pyroelectricity) <http://en.wikipedia.org/wiki/Pyroelectricity>
[stránky společnosti FCC PUBLIC](http://www.automa.cz/elektro/2001/el020116.htm) <http://www.automa.cz/elektro/2001/el020116.htm>
[Piezoelectric](http://www.ctscorp.com/components/piezoelectric.htm) <http://www.ctscorp.com/components/piezoelectric.htm>
[Piezoelectric Technical Publications - Morgan Electro Ceramics](http://www.morganelectroceramics.com/techpub1.html)
<http://www.morganelectroceramics.com/techpub1.html>
[Product > Speciality Products > Piezoelectric Devices2 > Piezoelectric Devices >ceramic gyro](http://www.nec-tokin.com/english/product/piezodevice2/ceramicgyro.html)
<http://www.nec-tokin.com/english/product/piezodevice2/ceramicgyro.html>
[PI Piezo Tutorial: Fundamentals of Piezoelectricity and Piezo Actuators](http://www.physikinstrumente.com/tutorial/4_15.html)
<http://www.physikinstrumente.com/tutorial/4_15.html>
[Images SI, Inc.](http://www.imagesco.com/articles/piezo/piezo00.html) <http://www.imagesco.com/articles/piezo/piezo00.html>

[Properties of APC Materials - APC International, Ltd.](http://www.americanpiezo.com/materials/apc_properties.html)
<http://www.americanpiezo.com/materials/apc_properties.html>
[Piezoelectric Ceramics](http://www.nextechmaterials.com/view_menu.php?id=2) <http://www.nextechmaterials.com/view_menu.php?id=2>
[Pyroelectric](http://www.fuji-piezo.com/prodpyro.htm) <<http://www.fuji-piezo.com/prodpyro.htm>>
[Basic.pdf \(application/pdf objekt\)](http://infratec.de/sensorik/pdf/Basic.pdf) <<http://infratec.de/sensorik/pdf/Basic.pdf>>
[- Thermo Electron Corporation - High Speed & Sensitivity Detectors for Use in the Mid-IR Spectral Range](http://www.anderseninstruments.com/com/cda/products/product_application_details/1,,11026,00.html)
<http://www.anderseninstruments.com/com/cda/products/product_application_details/1,,11026,00.html>
[Piezoelectricity - Wikipedia, the free encyclopedia](http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity) <<http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity>>
[elec_ &_ opt\(7\).pdf \(application/pdf objekt\)](http://www.spme.monash.edu.au/teaching/msc3011/elec_&_opt%287%29.pdf)
<http://www.spme.monash.edu.au/teaching/msc3011/elec_&_opt%287%29.pdf>
[Piezoelectric Terminology](http://www.piezo.com/tech1/terms.html#pyro) <<http://www.piezo.com/tech1/terms.html#pyro>>
[FyzWeb](http://fyzweb.cuni.cz/zajimavosti/veletrh/prispevky01/drozd/) <<http://fyzweb.cuni.cz/zajimavosti/veletrh/prispevky01/drozd/>>

Alternativní zdroje

[Jaderná energie a energie z obnovitelných zdrojů](http://www.quido.cz/je/default.html) <<http://www.quido.cz/je/default.html>>
[TZB-info: Statistika obnovitelných zdrojů energie](http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3187&h=13&pl=49) <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3187&h=13&pl=49>>
[ELEKTRINA](http://www.cez.cz/presentation/static/miniencyklopedie_elektriny/index.htm) <http://www.cez.cz/presentation/static/miniencyklopedie_elektriny/index.htm>